aAllegato 8 – Relazione pedologica

Valutazione degli impatti sul suolo e sulle sue funzioni ecologiche

PREPARATA PER

Equinix Italia S.r.l.

DATA
Giugno 2026

RIFERIMENTO
0764978

INFORMAZIONI DOCUMENTO

TITOLO	**Allegato 20 – Relazione pedologica**
SOTTOTITOLO	Valutazione degli impatti sul suolo e sulle sue funzioni ecologiche
NUMERO DI PROGETTO	0764978
Data	Giugno 2026
Versione	Final
Autore	STUDIO LANDSCAPE srl - Marco Giorgetti Dottore agronomo
Cliente	Equinix Italia S.r.l.

CRONOLOGIA REVISIONI

				APPROVAZIONE ERM		
VERSIONE	REVISIONE	AUTORE	RIVISTO DA	NOME	DATA	COMMENTI
Final	000	Marco Giorgetti	Arianna Ranci	Marco Miori	Giugno 2026	

Sensitivity: Internal Use

PAGINA DELLE FIRME

Allegato 8 – Relazione pedologica

Valutazione degli impatti sul suolo e sulle sue funzioni ecologiche

0764978

Marco Miori
Partner

Arianna Ranci
Project Manager

Jacopo Signorini
Project Director

ERM Italia S.p.A.
Via San Gregorio, 38
20124 Milano - Italia
Tel: +39 02 674401

© Copyright 2026 by The ERM International Group Limited and/or its affiliates ('ERM'). All Rights Reserved.
No part of this work may be reproduced or transmitted in any form or by any means, without prior written permission of ERM.

Sensitivity: Internal Use

INDICE

INTRODUZIONE		1
1.	SUPERFICI INTERESSATE DALL'INTERVENTO	3
1.1	SOTTRAZIONE DEFINITIVA DI SUOLO	3
1.2	AREE SOGGETTE AD ALTERAZIONE TEMPORANEA	6
1.3	AREE NON INTERESSATE DALL'INTERVENTO - MITIGAZIONI	8
1.4	ULTERIORI AREE (COMPENSAZIONE)	9
2.	QUANTIFICAZIONE DEL NUOVO CONSUMO DI SUOLO SECONDO ISPRA (2024)	11
2.1	CONFRONTO DEL CONSUMO DI SUOLO A SCALA REGIONALE, PROVINCIALE E COMUNALE	12
2.1.1	Superfici di riferimento	12
2.1.2	Interpretazione	13
3.	VALUTAZIONE PEDOLOGICA E SERVIZI ECOSISTEMICI	14
3.1	INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	14
3.1.1	Pedopaesaggio del livello fondamentale della pianura (L)	15
3.1.2	Pedopaesaggio delle valli fluviali dei corsi d'acqua olocenici (V)	16
3.2	APPROFONDIMENTI	17
3.2.1	Tipi di suolo	20
3.2.2	Ulteriori approfondimenti	25
3.2.3	Conclusioni	30
3.3	SERVIZI ECOSISTEMICI PERSI O COMPROMESSI	30
3.4	PATRIMONIO AGROALIMENTARE E VOCAZIONE AGRICOLA ANTE OPERAM	34
3.5	SUOLO OBIETTIVO E MODALITÀ OPERATIVE DI RICOSTITUZIONE	35
4.	MISURE DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE	38
4.1	MITIGAZIONE (7.111 M²)	38
4.2	COMPENSAZIONE (21.391M²)	39
5.	BILANCIO DEI SERVIZI ECOSISTEMICI	42
5.1	TABELLA ANALITICA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI – CONFRONTO ANTE/POST OPERAM	43
5.2	APPROFONDIMENTO QUANTITATIVO	46
5.2.1	Stima dello stock di carbonio	46
5.2.2	Valutazione quantitativa della capacità idrologica	48
5.2.3	Biodiversità - indici ecologici	50
5.2.4	Protezione dall'erosione	52
5.2.5	Valori culturali e paesaggistici	53
5.2.6	Valutazione quantitativa della capacità produttiva agricola	54
5.3	SINTESI: BILANCIO ECOSISTEMICO COMPLESSIVO	55
6.	CONCLUSIONI	58

7. RIFERIMENTO / BIBLIOGRAFIA 60

ELENCO DELLE TABELLE NEL TESTO

TABELLA 1: CONSUMO DI SUOLO 11

TABELLA 2: CONFRONTO PERCENTUALE DEL CONSUMO DI SUOLO 12

ELENCO DELLE FIGURE NEL TESTO

FIGURA 1: AREA OGGETTO DI ASPORTAZIONE DEFINITIVA DI SUOLO. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 4

FIGURA 2: AREE PEREMABILI E IMPERMEABILI ANTE OPERAM. BASEMAP: ORTOFOTO 2003. FONTE: GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA. 5

FIGURA 3: AREE PERMEABILI E IMPERMEABILI DURANTE LA FASE DI CANTIERE. BASEMAP: ORTOFOTO 2003. FONTE: GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA. 6

FIGURA 4: AREE PERMEABILI E IMPERMEABILI POST OPERAM. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 7

FIGURA 5: AREA DI MITIGAZIONE. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 8

FIGURA 6: AREE DI COMPENSAZIONE FONTANILE FRATI. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 9

FIGURA 7:AREE DI COMPENSAZIONE FONTANILE MUSSETTA E PATELLANO. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 10

FIGURA 8: AREA OGGETTO DI CONSUMO DI SUOLO DEFINITIVO. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE 11

FIGURA 9: ESTRATTO ECOATLANTE – SUOLO CONSUMATO 2023 12

FIGURA 10: LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA (L) 14

FIGURA 11: VALLI FLUVIALI (V) 15

FIGURA 12: CARTA PEDOLOGICA 250K – DISTRETTI. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA 17

FIGURA 13: CARTA PEDOLOGICA 50K – LITOLOGIA. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA 18

FIGURA 14: CARTA PEDOLOGICA 50K – UNITA' DI PAESAGGIO. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA 19

FIGURA 15: ESTRATTO VALORE NATURALISTICO DEI SUOLI 22

FIGURA 16: PROFILO RAPPRESENTATIVO DELLA SERIE CIC 1 P14/18 25

FIGURA 17: PROFILO ICONOGRAFICO CIC1 27

FIGURA 18: PROFILO ICONOGRAFICO ZIT1 29

FIGURA 19: SCHEMA CONCETTUALE DEL SUOLO OBIETTIVO PER AREE A VERDE E MITIGAZIONE. IL PROFILO RICOSTITUITO INDIVIDUA GLI STRATI FUNZIONALI NECESSARI A GARANTIRE CONTINUITÀ PEDOLOGICA, IDROLOGICA ED ECOSISTEMICA CON IL CONTESTO LOCALE, SECONDO L'APPROCCIO DELLE LINEE GUIDA ISPRA 65.2/2010. 37

INTRODUZIONE

Il presente documento è stato predisposto in ottemperanza alle richieste di integrazione formulate dalle Autorità competenti nell'ambito del procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) ai sensi dell'art. 23 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., relative al progetto "Data Center ML5 e ML6 nel Comune di Settimo Milanese (MI)", proposto da Equinix Italia S.r.l.

In particolare, il documento risponde alle richieste di documentazione integrativa formulate dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) con nota del 22/01/2026, prot. n. 0012781, con specifico riferimento alle richieste numero:

7,1 – "*Integrare lo SIA con un adeguato inquadramento pedologico, anche cartografico, consultando la cartografia ufficiale (Carta dei Suoli della Lombardia, scala 1:250.000 - geoportale regionale) e, se disponibili, ulteriori studi di maggior dettaglio.*"

7,2 – "*L'inquadramento richiesto dovrà fornire, per le differenti tipologie pedologiche presenti, informazioni sia della composizione chimico-fisica del suolo che della sua biologia, individuando la genesi e l'evoluzione dei processi pedogenetici locali, e le funzioni ecosistemiche potenziali e attuali.*"

7,3 *"Al fine di valutare l'impatto dell'intervento sulla componente suolo a partire dal 2019 (ante titolo edilizio) dal momento che l'area oggetto di esame era a verde e classificata dal DUSAF 6.0 (2018) come seminativi semplici (cod. 2111), si chiede di individuare graficamente e quantificare tutti gli interventi che hanno comportato e comporteranno un impatto sul suolo sia in fase di esercizio sia in fase di cantiere (comprendendo anche la nuova viabilità di accesso al sito, linee elettriche interrate e opere accessorie quali, ad esempio, la sottostazione MLSS1) specificando:*

- *l'uso del suolo ante-operam, prendendo come riferimento il DUSAF 6.0. nonché eventuali altre fonti che riportino la situazione ante titolo edilizio;*
- *le aree occupate in maniera temporanea e che poi verranno ripristinate allo stato anteoperam (ad esempio le aree di cantiere);*
- *le aree che, a fine progetto, saranno definitivamente impermeabilizzate, specificando la quota parte di superficie agricola definitivamente persa, le aree permeabili e destinate a verde ed eventuali altre tipologie di aree;*
- *i dati sopra richiesti devono essere riportati graficamente e in formato tabellare (e possibilmente forniti anche in formato shapefile), in modo che sia possibile effettuare una comparazione tra le fasi ante-operam, corso d'opera e post-operam.""*

7,4 – "*Le superfici sopra descritte, come richiesto dalle linee guida SNPA 28/2020, dovranno essere valutate in considerazione della tipologia pedologica presente, stimando qualitativamente le funzioni ecosistemiche perse o impattate temporaneamente (stoccaggio di Carbonio, sede di biodiversità, regolazione climatica, infiltrazione delle acque meteoriche, riserva idrica, riduzione inquinanti di acqua e aria, chiusura cicli biogeochimici) e quantitativamente la capacità di stoccaggio di Carbonio sottratta dall'asportazione definitiva di suolo.*"

7,8 – "*Adottare lo strumento 'suolo obiettivo' (Linee Guida ISPRA 65.2/2010) o suolo di progetto per la realizzazione delle aree a verde in progetto e per quelle oggetto di compensazione, in modo da realizzare una struttura in continuità pedologica ed ecosistemica con il contesto locale,*

a seguito di indicazioni ottenute sia da fonti bibliografiche che da attività di analisi pedologica in prossimità del sito di interesse."

La presente relazione tecnica costituisce un'integrazione allo Studio di Impatto Ambientale (SIA) già presentato per il progetto in esame e nasce dall'esigenza di approfondire alcuni aspetti specifici evidenziati dagli enti competenti nel corso dell'istruttoria.

In risposta a tali richieste, il presente documento sviluppa un'analisi estesa e metodologicamente strutturata, con l'obiettivo di restituire un quadro conoscitivo completo e aggiornato dell'assetto territoriale, delle dinamiche ecologiche preesistenti e delle trasformazioni indotte dal progetto. L'approfondimento non si limita alla sola descrizione delle superfici interessate, ma affronta in modo integrato il tema della funzionalità del suolo, della sua capacità di fornire servizi ecosistemici e delle variazioni qualitative e quantitative che derivano dalla realizzazione dell'intervento.

La valutazione viene condotta in coerenza con il sistema metodologico delineato dalle Linee Guida SNPA 28/2020, che rappresentano il riferimento nazionale per l'analisi degli impatti legati al consumo di suolo e alla perdita dei relativi servizi ecosistemici. L'impostazione adottata consente di esaminare il suolo non come un semplice supporto fisico alle attività antropiche, ma come una componente ambientale complessa e multifunzionale, in grado di regolare processi fondamentali quali il ciclo dell'acqua, il ciclo del carbonio, la biodiversità edafica, la stabilità paesaggistica e la produttività agricola.

In questo senso, l'integrazione presentata non ha un ruolo meramente descrittivo, ma intende fornire una valutazione scientificamente solida e pienamente rispondente ai criteri di una VIA, capace di interpretare il territorio come sistema e di stimare con precisione gli impatti diretti, indiretti e cumulativi associati all'intervento. L'analisi si estende quindi alla quantificazione delle superfici sottratte alle loro funzioni, alla distinzione tra aree di perdita permanente e aree soggette a disturbo temporaneo, alla caratterizzazione pedologica dei suoli coinvolti e alla stima dei servizi ecosistemici persi o alterati.

Particolare attenzione viene inoltre dedicata alle misure di mitigazione e compensazione previste, valutate non solo in termini di estensione superficiale, ma soprattutto in relazione alla loro capacità effettiva di ricostituire — nel medio-lungo periodo — le funzioni ecologiche compromesse. Il documento analizza quindi il ruolo delle fasce verdi, delle aree di riequilibrio ecologico e dell'intervento forestale compensativo, interpretandoli come elementi determinanti per la ricomposizione degli equilibri ecosistemici e per la sostenibilità complessiva del progetto.

1. SUPERFICI INTERESSATE DALL'INTERVENTO

La valutazione delle superfici soggette a trasformazione costituisce un elemento essenziale per comprendere la portata dell'intervento e l'entità degli impatti sul sistema pedologico e sui servizi ecosistemici. Le superfici sono state analizzate distinguendo tra sottrazione definitiva di suolo, aree soggette ad alterazione temporanea, superfici non interessate dall'intervento e ulteriori aree destinate a misure di mitigazione e compensazione.

1.1 SOTTRAZIONE DEFINITIVA DI SUOLO

Esse comprendono le aree destinate alla realizzazione delle nuove strutture, delle infrastrutture di servizio e delle superfici impermeabilizzate.

La sottrazione definitiva del suolo comporta una perdita irreversibile della sua funzionalità ecologica. In particolare, risultano compromesse:

- la capacità di infiltrazione e laminazione delle acque meteoriche;
- la funzione di stoccaggio del carbonio, strettamente connessa alla presenza di sostanza organica e alla stabilità della struttura del suolo;
- la funzione di supporto alla biodiversità, sia a livello microbico sia a livello vegetale e faunistico;
- la protezione dall'erosione e la stabilità della superficie;
- la funzione produttiva agricola.

La planimetria allegata evidenzia nel dettaglio l'esatta collocazione delle superfici permanenti, distinguendole dagli altri ambiti funzionali.

FIGURA 1: AREA OGGETTO DI ASPORTAZIONE DEFINITIVA DI SUOLO. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.

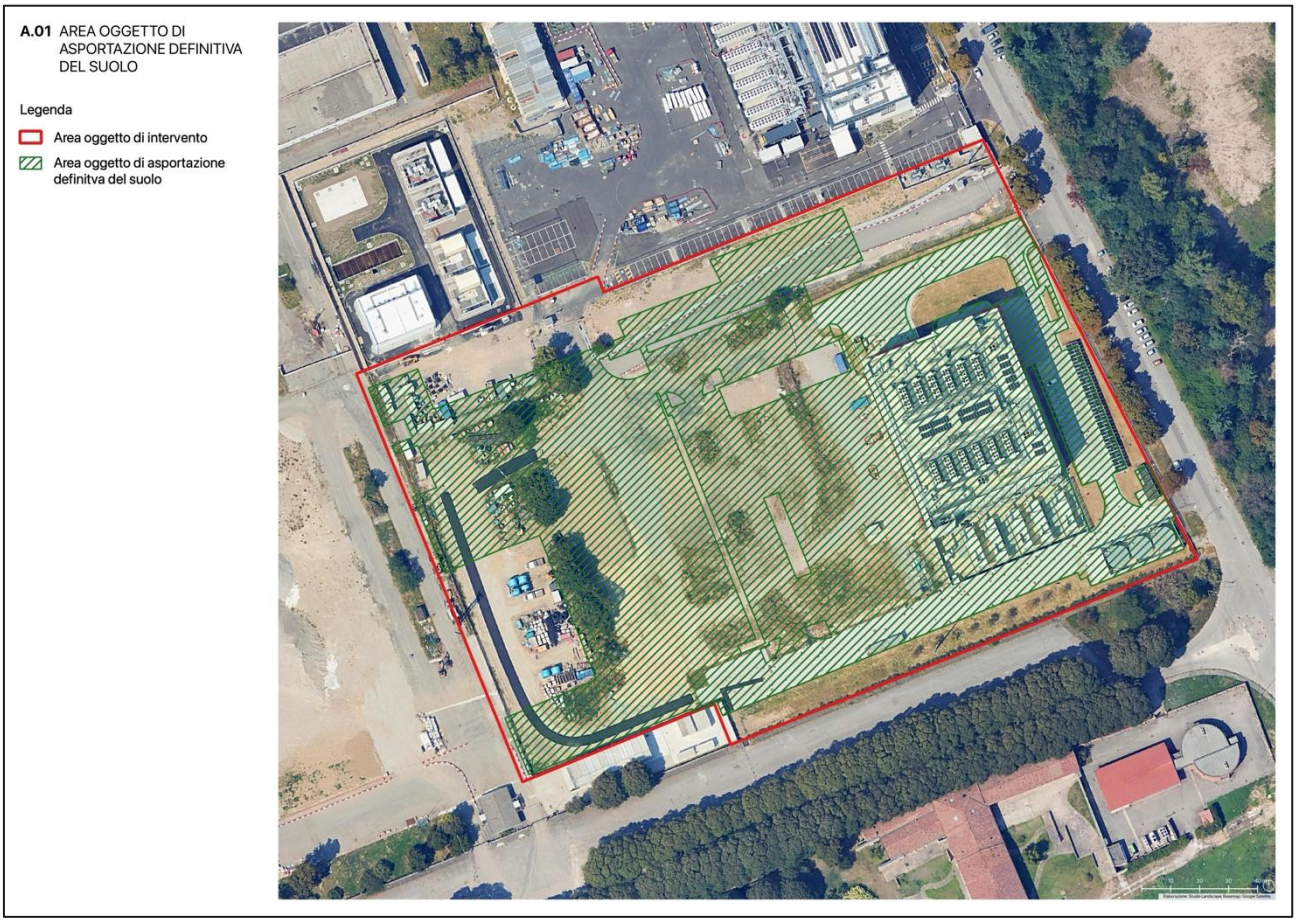


FIGURA 2: AREE PEREMABILI E IMPERMEABILI ANTE OPERAM. BASEMAP: ORTOFOTO 2003. FONTE: GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA.

1.2 AREE SOGGETTE AD ALTERAZIONE TEMPORANEA

Oltre alle superfici con perdita permanente, sono stati individuati gli ambiti soggetti ad interferenze temporanee legate alla cantierizzazione. Tali aree, pur di modesta dimensione e coinvolte nel processo costruttivo, verranno ripristinate nella loro funzionalità finale mediante operazioni di decompattazione del suolo, riposizionamento della copertura pedologica e successiva rinaturalizzazione controllata. Verranno adottate le indicazioni contenute nelle Linee guida promosse da ARPA Lombardia sulla Gestione e Tutela dei suoli nei cantieri delle grandi opere, emanate nel novembre 2022, che rappresentano un riferimento utile anche per aree di limitata estensione. Tali aree corrispondono in parte le aree di mitigazione in sito.

Si specifica che non verranno utilizzate aree di cantiere esterne al sito di intervento.

FIGURA 3: AREE PERMEABILI E IMPERMEABILI DURANTE LA FASE DI CANTIERE. BASEMAP: ORTOFOTO 2003. FONTE: GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA.

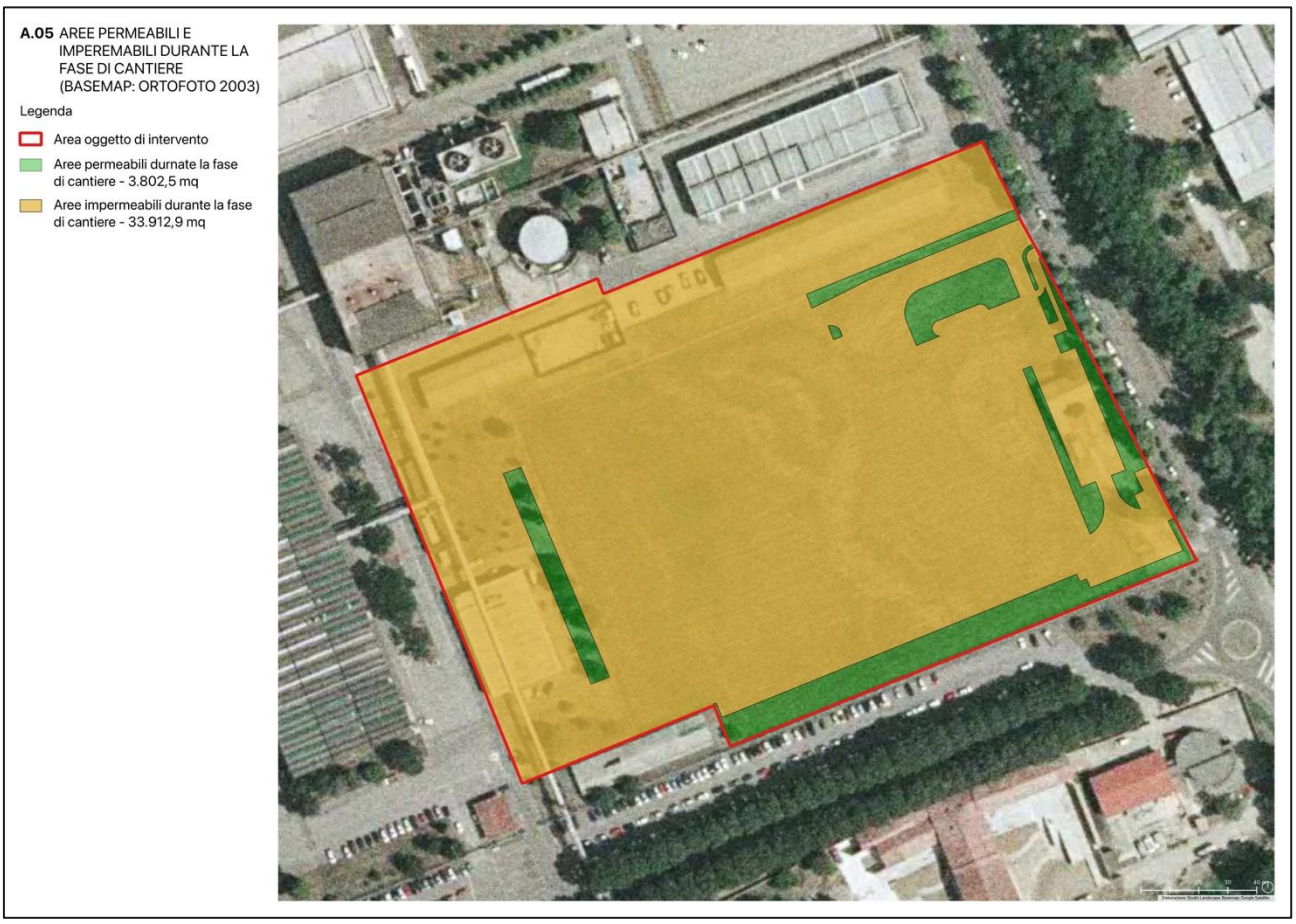


FIGURA 4: AREE PERMEABILI E IMPERMEABILI POST OPERAM. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.

1.3 AREE NON INTERESSATE DALL'INTERVENTO - MITIGAZIONI

Residue superfici interne alla proprietà non saranno coinvolte né dalle opere né dalle attività di cantiere, mantenendo quindi inalterate le proprie funzioni ecosistemiche. In queste zone verranno realizzati interventi mitigativi come meglio descritti nella relazione allegata (Allegato_8_Progetto di mitigazioni_Relazione generale). La presenza di tali aree contribuisce a mantenere un equilibrio complessivo nella disposizione degli habitat e nella continuità ecologica locale. La loro superficie risulta essere di **7.111 m²** (fasce ecologiche di mitigazione).

FIGURA 5: AREA DI MITIGAZIONE. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.

1.4 ULTERIORI AREE (COMPENSAZIONE)

Sono state individuate due aree idonee alla compensazione, ritenute fondamentali per il riequilibrio dell'intervento, per una superficie complessiva di **21.391** m².

Per tali aree si prevedono interventi di riqualificazione ambientale riconducibili principalmente a due tipologie di azione: piantumazioni arboreo-arbustive e interventi di valorizzazione forestale. Tutti gli interventi proposti prevedono l'impiego esclusivo di specie autoctone, coerenti con i lineamenti fitosociologici delle aree interessate e conformi a quanto indicato dal PASM nell' "*Elenco delle specie arboree ed arbustive autoctone del Parco Agricolo Sud Milano*".

Queste ultime due aree rivestono un ruolo determinante nel bilancio dei servizi ecosistemici e sono descritte nel dettaglio nei capitoli successivi.

Le aree di compensazione individuate per il Fontanile Frati ammontano complessivamente a 6.889 m², suddivise in una porzione con intervento di rimboschimento pari all'80% della superficie e una porzione con rimboschimento pari al 100%.

Per il Fontanile Mussetta e Patellano, l'area di compensazione è individuata in 14.502 m², all'interno della quale si prevede un intervento di rimboschimento pari al 30% della superficie oggetto di intervento.

FIGURA 6: AREE DI COMPENSAZIONE FONTANILE FRATI. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.

FIGURA 7:AREE DI COMPENSAZIONE FONTANILE MUSSETTA E PATELLANO. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.

2. QUANTIFICAZIONE DEL NUOVO CONSUMO DI SUOLO SECONDO ISPRA (2024)

In conformità a quanto richiesto dagli enti competenti e in linea con la definizione ISPRA 2024, il nuovo consumo di suolo è stato analizzato considerando esclusivamente le superfici attualmente classificate come "suolo non consumato" che, a seguito dell'intervento, verranno trasformate in "suolo consumato".

Secondo il Geoportale ISPRA (EcoAtlante), le superfici interessate rientrano in contesti agricoli e seminaturali caratterizzati da suoli profondi, permeabili e funzionalmente attivi. L'intervento comporta pertanto un nuovo consumo di suolo pari a 26.207 m², rappresentato dalle aree destinate all'impermeabilizzazione.

La quantificazione è riportata sinteticamente nella seguente tabella:

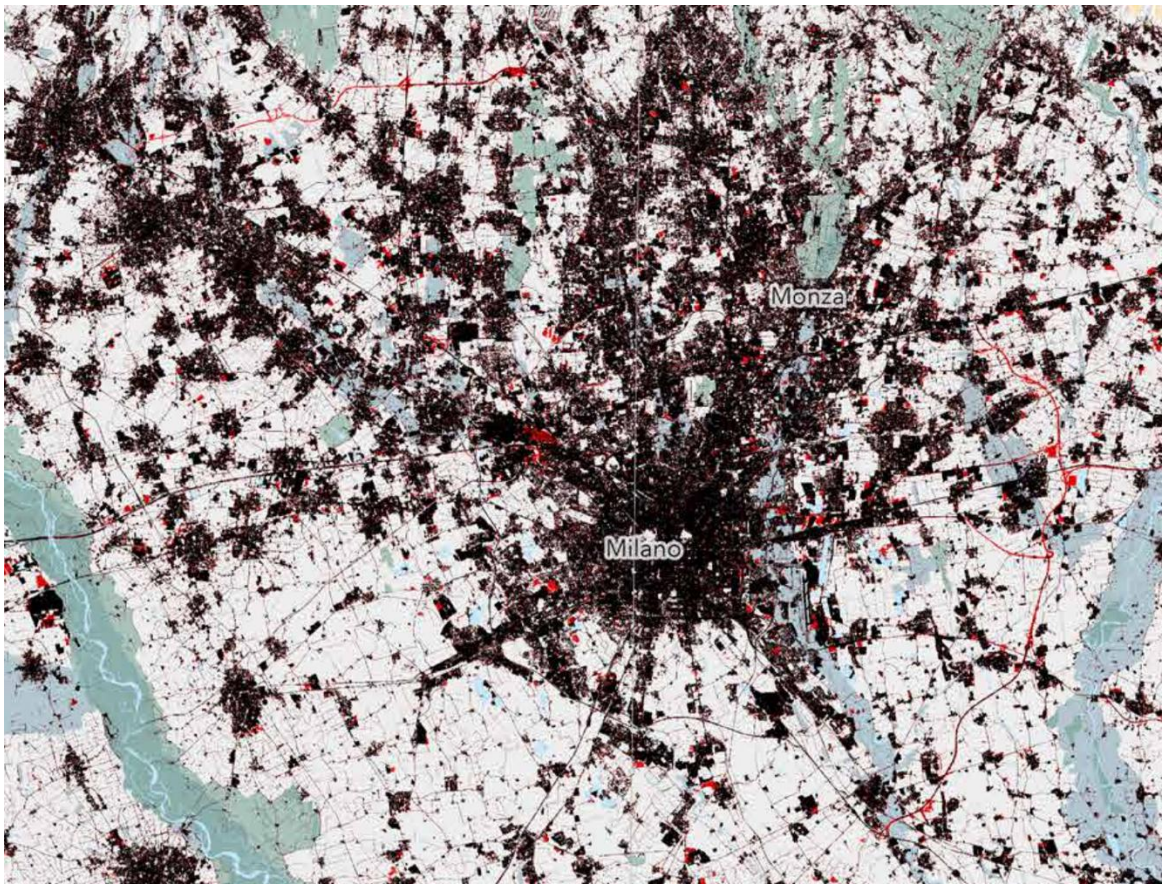
TABELLA 1: CONSUMO DI SUOLO

Tipologia	Superficie (m²)
Nuovo consumo di suolo secondo ISPRA	26.207

FIGURA 8: AREA OGGETTO DI CONSUMO DI SUOLO DEFINITIVO. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE

L'analisi dell'effetto ambientale è stata poi integrata nella valutazione dei servizi ecosistemici.

FIGURA 9: ESTRATTO ECOATLANTE – SUOLO CONSUMATO 2023



2.1 CONFRONTO DEL CONSUMO DI SUOLO A SCALA REGIONALE, PROVINCIALE E COMUNALE

Per contestualizzare ulteriormente l'incidenza territoriale del progetto, si riporta una valutazione comparativa del consumo di suolo rispetto al territorio regionale (Lombardia) e provinciale (Milano). Il confronto evidenzia come la superficie oggetto di trasformazione rappresenti una quota estremamente ridotta rispetto ai grandi ambiti amministrativi.

2.1.1 SUPERFICI DI RIFERIMENTO

- Suolo consumato dal progetto: 26.207 m²
- Superficie Regione Lombardia: 23.863 km² (23.863.000.000 m²)
- Superficie Provincia di Milano: 1.575,65 km² (1.575.650.000 m²)

TABELLA 2: CONFRONTO PERCENTUALE DEL CONSUMO DI SUOLO

Livello territoriale	Superficie totale (m²)	Suolo consumato dal progetto (m²)	Percentuale
Regione Lombardia	23.863.000.000	26.207	**0,00010982%**

Provincia di Milano	1.575.650.000	26.207	**0,00166325%**

2.1.2 INTERPRETAZIONE

Il consumo di suolo prodotto dal progetto rappresenta:

- **0,00010982% del territorio regionale**, un'incidenza trascurabile a scala macro-territoriale.
- **0,00166325% del territorio provinciale**, anch'essa estremamente contenuta.

Questi dati confermano che l'impatto in termini di estensione territoriale è minimo se rapportato a unità amministrative superiori, pur mantenendo rilevanza locale per via della trasformazione permanente della funzionalità pedologica nelle aree direttamente coinvolte.

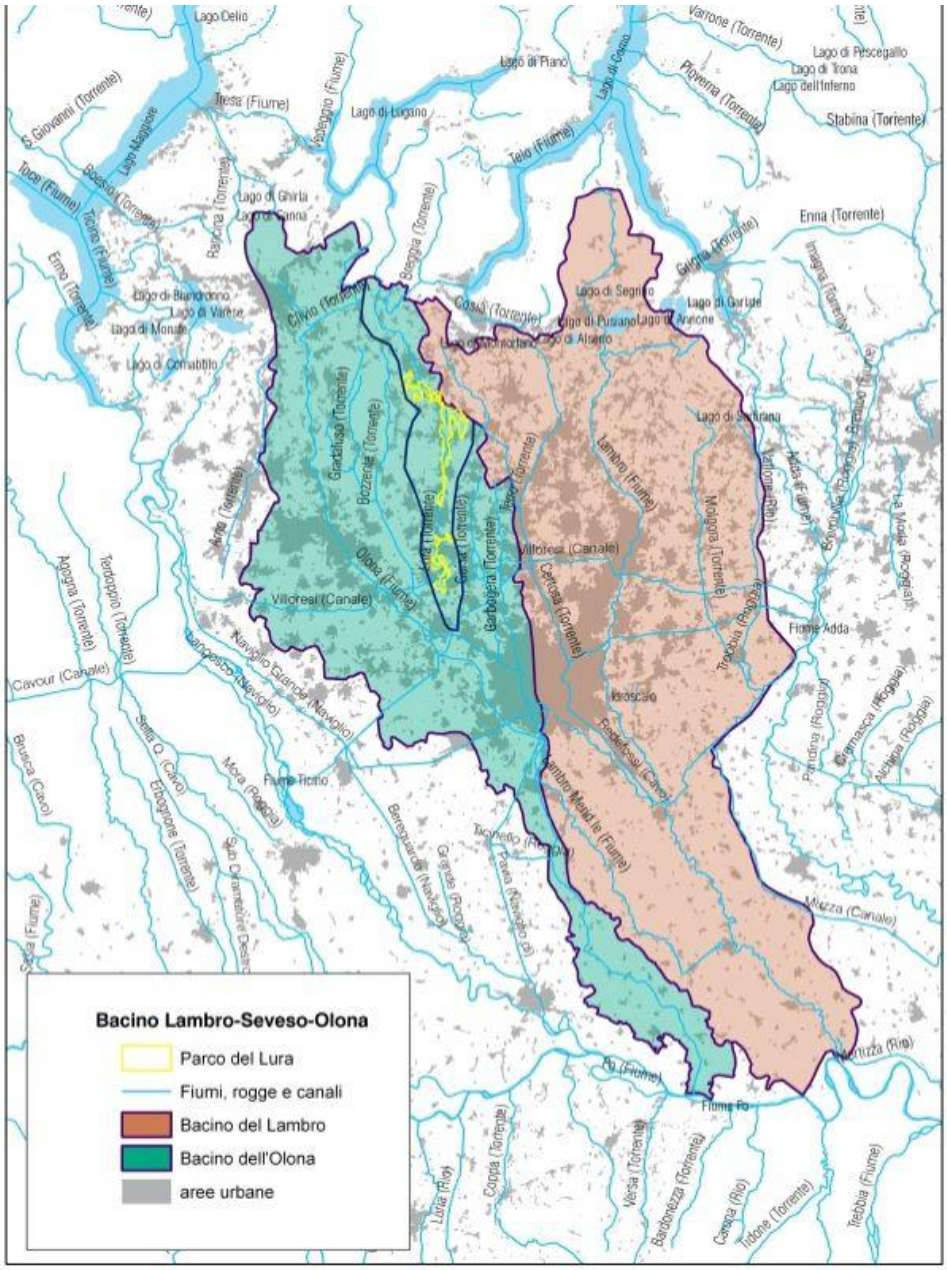
3. VALUTAZIONE PEDOLOGICA E SERVIZI ECOSISTEMICI

3.1 INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

L'area oggetto di intervento, ubicata nel Comune di Settimo Milanese (MI), ricade nel livello fondamentale della pianura (L) secondo la classificazione della Carta dei Suoli di Regione Lombardia (ERSAF). Tale ambito è caratterizzato da superfici pianeggianti di origine fluvioglaciale, con suoli profondi e moderatamente evoluti, a tessitura prevalentemente franco-limosa o franco-argillosa. I terreni presentano generalmente buona capacità d'uso agricola, con permeabilità moderata e condizioni idriche localmente influenzate dalla presenza di falda superficiale e da possibili fenomeni di ristagno temporaneo, tipici della media pianura lombarda irrigua.

FIGURA 10: LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA (L)

FIGURA 11: VALLI FLUVIALI (V)



3.1.1 PEDOPAESAGGIO DEL LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA (L)

Il pedopaesaggio del livello fondamentale della pianura (L), nel quale ricade l'area di studio ubicata nel Comune di Settimo Milanese (MI), descrive le superfici pianeggianti della pianura lombarda formatesi a seguito dei processi fluvioglaciali e alluvionali legati alle fasi finali della glaciazione wurmiana, a valle degli apparati morenici prealpini.

Nel contesto della pianura milanese, tali superfici sono caratterizzate da sedimenti a granulometria prevalentemente fine, costituiti da limi e argille, depositati in condizioni di bassa energia. L'area si colloca nella media pianura irrigua, caratterizzata da morfologia uniforme e da una significativa influenza del reticolo idrico artificiale e naturale.

All'interno del livello fondamentale della pianura, il sito è riferibile ad ambienti con moderata tendenza all'idromorfia, determinata dalla presenza di falda superficiale e dalla limitata permeabilità dei terreni più fini. Tali condizioni influenzano i processi pedogenetici, favorendo lo sviluppo di suoli moderatamente evoluti.

I suoli presentano tessitura prevalentemente franco-limosa o franco-argillosa, con buona capacità di ritenzione idrica e fertilità generalmente elevata. La permeabilità è moderata o localmente ridotta e possono verificarsi fenomeni di ristagno temporaneo, soprattutto in relazione alle condizioni di drenaggio e alla gestione idraulica del territorio.

La reazione è generalmente neutra o subalcalina, con elevata saturazione in basi, caratteristiche tipiche dei suoli della pianura padana. Nel complesso, si tratta di suoli ad elevata vocazione agricola, la cui gestione richiede attenzione agli aspetti idraulici e alla prevenzione della compattazione.

3.1.2 PEDOPAESAGGIO DELLE VALLI FLUVIALI DEI CORSI D'ACQUA OLOCENICI (V)

Il pedopaesaggio delle valli fluviali dei corsi d'acqua olocenici (V) descrive le superfici connesse al reticolo idrografico attuale e recente, comprendenti le piane alluvionali attive o fossili e le superfici debolmente terrazzate poste a quote prossime agli alvei.

Nel contesto della pianura milanese e del Comune di Settimo Milanese, tali ambiti risultano associati prevalentemente al reticolo idrico minore naturale e artificializzato, costituito da corsi d'acqua di modesta incisione e da una fitta rete di canali irrigui e di drenaggio. L'origine di queste forme è legata ai processi di deposizione e rimodellamento fluviale attivi in epoca olocenica, successivamente modificati dagli interventi antropici di regimazione idraulica.

Le valli fluviali si presentano come superfici debolmente depresse rispetto al livello fondamentale della pianura, caratterizzate da condizioni morfologiche poco marcate ma da un assetto idrologico distinto. In tali contesti si riconoscono prevalentemente piane alluvionali attuali o recenti (VA), formatesi per deposizione progressiva di sedimenti fini in condizioni di bassa energia, talvolta associate a episodi di esondazione o ristagno.

La pedogenesi in questi ambienti risulta generalmente limitata, a causa della relativa giovinezza dei depositi e delle condizioni idriche spesso condizionanti. I suoli sono quindi poco evoluti e poco differenziati rispetto al materiale parentale, costituito principalmente da sedimenti limoso-argillosi o franco-limosi.

Dal punto di vista idrologico, tali suoli sono frequentemente soggetti a fenomeni di idromorfia, con presenza di falda superficiale o subaffiorante che può permanere per periodi prolungati. Queste condizioni determinano una riduzione della permeabilità e influenzano le proprietà fisiche e chimiche dei suoli.

La profondità utile è variabile e spesso condizionata dalla dinamica della falda, mentre la tessitura è generalmente media o moderatamente fine; lo scheletro è scarso o assente. La reazione è neutra o subalcalina, con elevata saturazione in basi, mentre il contenuto in carbonati è variabile ma generalmente non limitante.

Nel complesso, i suoli appartenenti a questo pedopaesaggio presentano limitazioni legate al drenaggio e alla lavorabilità, risultando meno favorevoli all'uso agricolo intensivo rispetto ai suoli

del livello fondamentale della pianura, ma assumendo un ruolo rilevante sotto il profilo idraulico e ambientale.

3.2 APPROFONDIMENTI

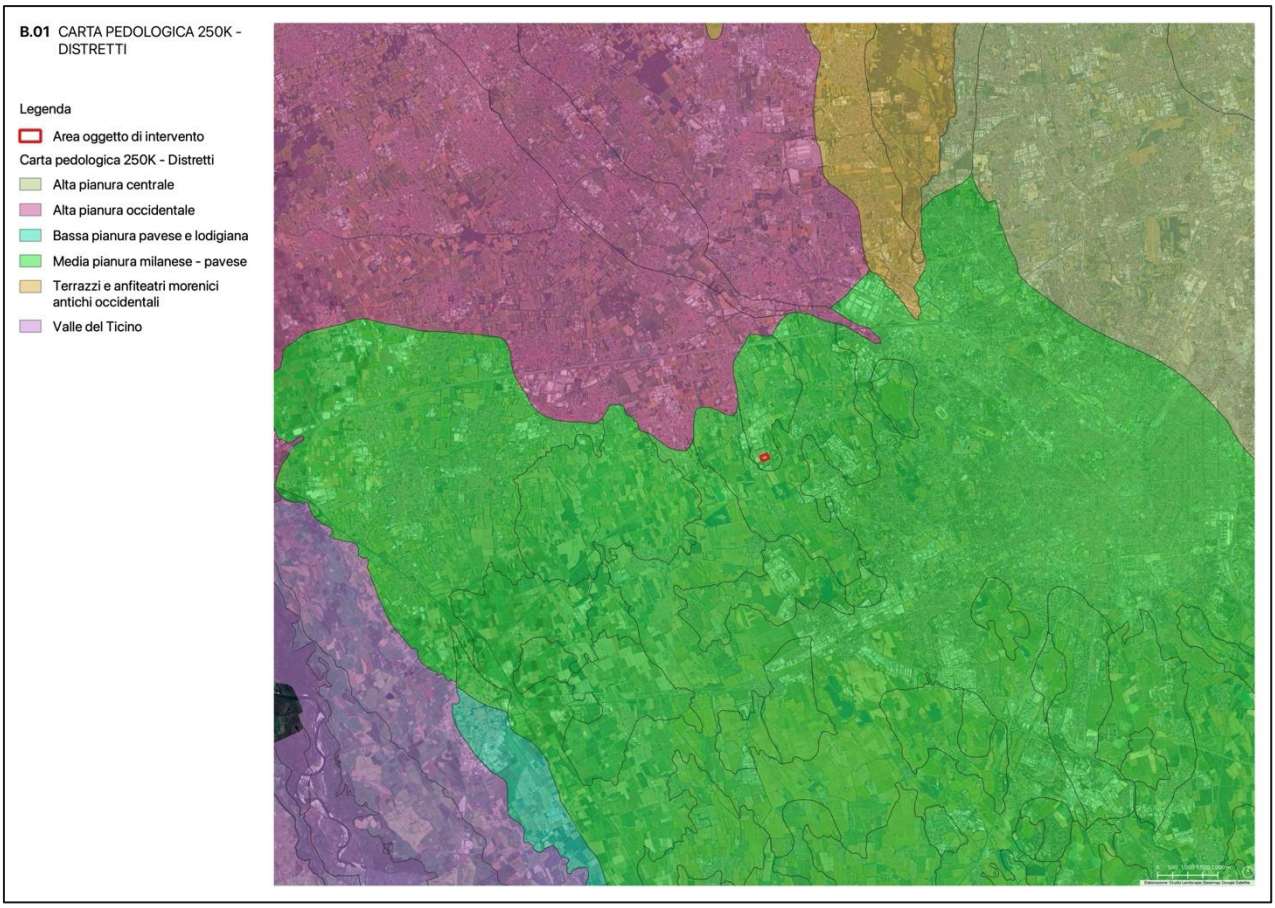
Ulteriori approfondimenti pedologici sono stati condotti mediante la consultazione delle informazioni digitali rese disponibili da ERSAF – Regione Lombardia, con particolare riferimento alla Carta dei Suoli della Lombardia e ai relativi database territoriali.

Attraverso tali strumenti è possibile individuare e caratterizzare i suoli nel contesto ambientale e fisiografico in cui si sono formati e sono attualmente inseriti, evidenziando aspetti relativi alla genesi, alle proprietà fisico-chimiche e alle principali limitazioni d'uso.

Mediante i servizi cartografici regionali (Geoportale della Lombardia) è possibile consultare le carte pedologiche e i tematismi derivati, che descrivono il comportamento funzionale dei suoli e alcune loro attitudini applicative (capacità d'uso, drenaggio, fertilità, limitazioni). Le informazioni sono organizzate in unità cartografiche e pedopaesaggi, corredati da descrizioni tipologiche di riferimento.

Tali cartografie, generalmente disponibili a scala di semidettaglio, forniscono un quadro conoscitivo adeguato per analisi a scala comunale e territoriale e costituiscono un riferimento di base per eventuali approfondimenti a scala maggiore, necessari nelle fasi di progettazione e valutazione di ambiti puntuali.

FIGURA 12: CARTA PEDOLOGICA 250K – DISTRETTI. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA



Procedendo con la consultazione della sezione “cartografia” viene rappresentata la mappa dove sono proposte una serie di informazioni.

FIGURA 13: CARTA PEDOLOGICA 50K – LITOLOGIA. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA

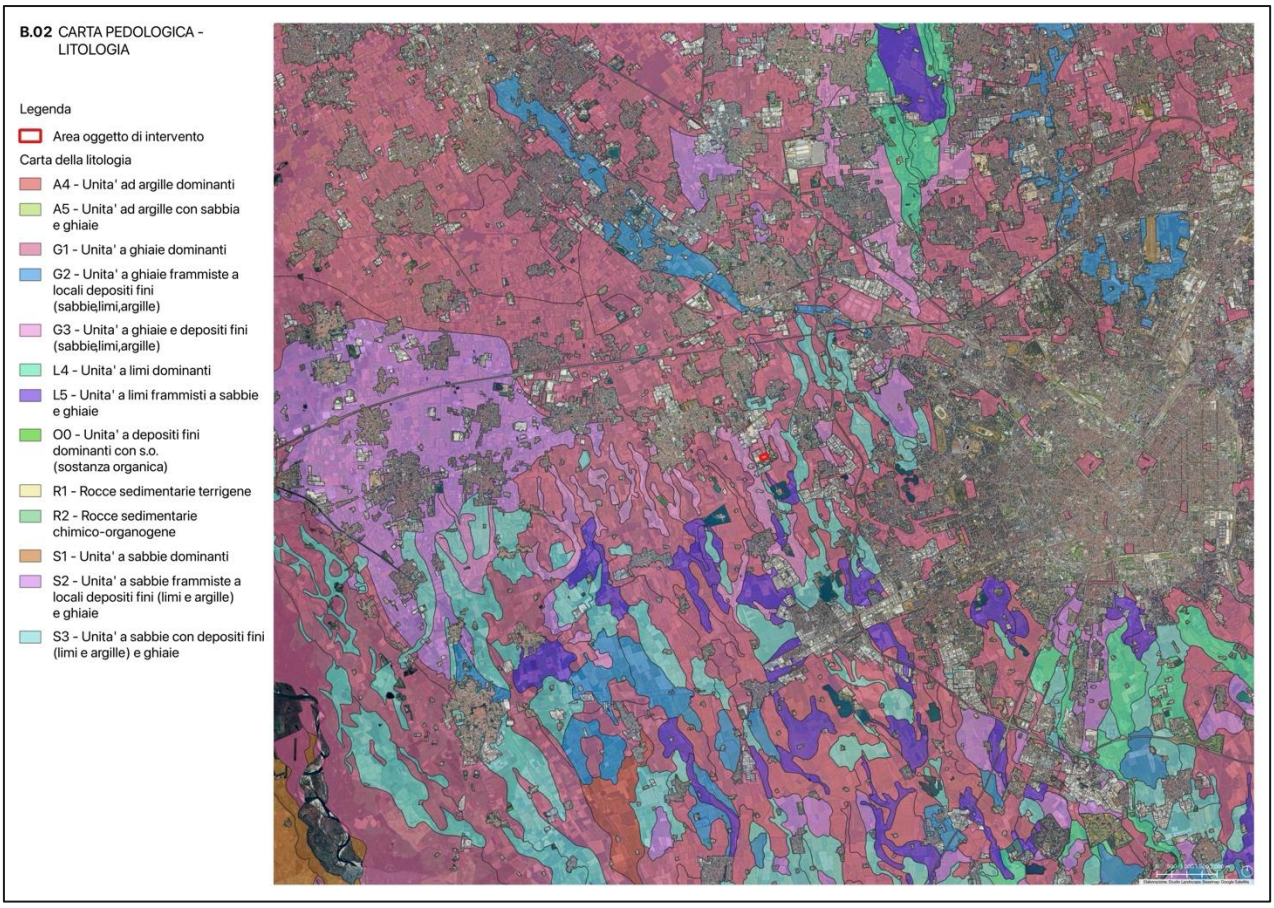


FIGURA 14: CARTA PEDOLOGICA 50K – UNITA' DI PAESAGGIO. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA

L'ambito di intervento oggetto della presente relazione non risulta classificato nella carta pedologica della Regione Lombardia, in quanto riferito a un'area non agricola. Tuttavia, prima del 2018 l'area era prevalentemente destinata a prato stabile.

Per tale ragione, si è ritenuto opportuno attribuire all'ambito di intervento, per analogia e prossimità con le aree limitrofe, la classe di unità di paesaggio CIC1/ZIT1, rappresentata in azzurro nella planimetria soprastante (TAV_B.03_Capacità d'uso dei suoli).

3.2.1 TIPI DI SUOLO

Le tipologie regionali di suolo vengono descritte per mezzo di tre entità distinte: le Serie, le Fasi di Serie e i Pedon (Profili) di riferimento. Tali entità, immagazzinate nel sistema informativo pedologico dell'ERSAL, sono state riportate nelle corrispondenti schede del documento ipertestuale.

La **Serie** costituisce il livello di massima generalizzazione nel sistema informativo pedologico; la definizione della Serie sintetizza le proprietà morfo-chimiche e i caratteri evolutivi di un certo numero di suoli simili descritti in campagna, che risultino omogenei per alcune caratteristiche significative, come ad esempio spessore e distribuzione degli orizzonti, struttura, colore, chimismo e collocazione fisiografica.

La **Fase di Serie** rappresenta il livello concettuale intermedio fra il suolo-tipo idealizzato nella Serie e l'espressione territoriale del suolo stesso. Dal punto di vista tipologico, le fasi rappresentano una maggiore definizione delle serie soprattutto per quel che riguarda l'esplicitazione delle proprietà applicative e gestionali dei suoli e il restringimento dei range delle caratteristiche pedologiche.

Ogni Serie ed ogni Fase possiede un **Pedon** di riferimento, che viene detto **tipico** per le Serie e **focale** per le Fasi di Serie. I Pedon sono descritti attraverso i **Profili**.

Il Pedon tipico/focale rappresenta il collegamento fra le tipologie e i suoli effettivamente rilevati e descritti in campagna e per mezzo delle analisi chimiche, ed è il suolo che meglio rappresenta le caratteristiche generalizzate e descritte nelle Serie e nelle Fasi.

Di seguito le informazioni del tipo di suolo cui viene ascritta l'area in oggetto.

Scheda Unità Cartografica	
Unità Cartografica	362 - CIC1/ZIT1
Tipo UC	Complesso
Componenti	CIC1/ZIT1
Descrizione UC	
Unità costituita da delineazioni localizzate in ambito di pianura alluvionale, con un'estensione complessiva di circa 7.232 ha, caratterizzate da morfologia pianeggiante o debolmente ondulata e pendenze molto ridotte (<1%). Superfici di origine alluvionale recente/sub-recente, con pietrosità superficiale assente o molto scarsa e rischio di inondazione da lieve a moderato. Parent material costituito da depositi alluvionali a granulometria variabile (da fine a media), generalmente calcarei; substrato rappresentato da limi, limi sabbiosi e sabbie limose. Uso del suolo prevalente agricolo, con seminativi e colture foraggere/cerealicole. Suoli generalmente molto profondi, a tessitura da media a moderatamente fine, con scheletro assente, moderatamente calcarei o calcarei, reazione neutra–subalcalina, drenaggio da buono a moderato, permeabilità da moderata a moderatamente bassa, AWC medio-alta e saturazione in basi elevata.	

Pedopaesaggio	
Sistema	L
Sotto Sistema	LW
Unità	LW1

Interpretazioni pedologiche	
	CIC1/ZIT1
Capacità d'uso	Suoli adatti all'agricoltura con lievi limitazioni
Attitudine allo spandimento dei reflui zootecnici	Suoli adatti con lievi limitazioni
Attitudine allo spandimento dei fanghi di depurazione	Suoli adatti con moderate limitazioni
Capacità protettiva per le acque sotterranee	Elevata
Capacità protettiva per le acque superficiali	Moderata
Valore naturalistico	Basso
Tessitura del primo metro	media
AWC del primo metro	molto alta
Profondità utile	molto profondi

Ai fini del presente studio, sono state indagate due informazioni derivanti dalle interpretazioni pedologiche, una relativa al valore naturalistico dei suoli e l'altra alla tessitura del primo metro.

3.2.1.1 INTERPRETAZIONI

Valore naturalistico dei suoli

Questa interpretazione propone una valutazione dell'interesse scientifico e della singolarità che le risorse pedologiche regionali manifestano dal punto di vista naturalistico, o perché i suoli sono testimonianze viventi delle intense relazioni tra pedosfera e sistema delle acque (suoli a regime aquico), che hanno avuto una importanza determinante nell'evoluzione degli ecosistemi e dello stesso paesaggio della pianura padana, o perché conservano tesori paleogeografici e paleoclimatici (paleosuoli delle superfici del pleistocene medio-superiore), divenendo così parte dell'eredità culturale dell'umanità, o perché sono caratterizzati da processi pedogenetici tipici di ambienti di formazione particolari (vertisuoli nelle "valli" della piana alluvionale del Po, suoli ad epipedon umbrico fortemente sviluppato nell'alta pianura e sulle morene della parte nord-occidentale della Lombardia, suoli sabbiosi del livello fondamentale della pianura che conservano la presenza di un orizzonte argillico o di lamelle di argilla illuviale, spodosuoli, suoli a matrice più fine e più elevato tenore in carbonati che hanno sviluppato in profondità un orizzonte petrocalcico molto indurito). La sempre più vasta attenzione riservata nella società agli aspetti culturali e ricreativi ha fatto crescere in questi anni la sensibilità per i beni ambientali, anche per quelli,

come il suolo, rimasti più a lungo confinati nella sfera di interesse di pochi specialisti. L'interpretazione del valore naturalistico dei suoli può costituire un riferimento utile per caratterizzare in modo più completo i beni ambientali, integrando conoscenze pedologiche con conoscenze geomorfologiche, naturalistiche, floristiche, paesaggistiche, geografiche, etc., e per proporre strategie comuni per la loro valorizzazione e fruizione.

FIGURA 15: ESTRATTO VALORE NATURALISTICO DEI SUOLI

Valore naturalistico

VALORE NATURALISTICO DEI SUOLI

Modello Interpretativo		
ALTO	MODERATO	BASSO
Suoli che appartengono ai grandi gruppi **Frag- o Plinth-** o ai sottogruppi **Fragic o Plinthic** degli Alfisols e Ultisols	Suoli che appartengono ai grandi gruppi **Pale- o Rhod-** degli Alfisols e Ultisols	ALTRI SUOLI
Suoli con orizzonte **a fragipan**, con **plinthite o pseudo plinthite**, con **orizzonte glossico**	Suoli che appartengono ai sottordini **Aqu-**	
Histosols e suoli che appartengono ai grandi gruppi **Hist-**	Suoli che appartengono al sottogruppo **Argic** degli Psamments	
Suoli che appartengo a un sottogruppo **"Pachic humic"** {ex Pachic o Cumulic Haplumbrepts}	Suoli con orizzonte argillico appartenenti a uno dei sottogruppi: **psammentic, arenic, grossarenic**	
Spodosols	Suoli che appartengono al sottogruppo **petrocalcic** dei GG Calciustepts, Calcixerepts, Calciusterts, Calcixererts, Haplusterts	
	Suoli con orizzonte **umbrico** {SG **"humic"** - ex Umbrepts} e **Humults**	
	Vertisols	

VALORE NATURALISTICO DEI SUOLI: MODELLO INTERPRETATIVO

Tessitura del primo metro

La tessitura è la proporzione relativa delle particelle minerali, di diametro inferiore a 2 mm, costituenti la cosiddetta "terra fine" del suolo. La tessitura viene determinata mediante analisi granulometriche di laboratorio oppure viene stimata al tatto in campagna. Le 12 classi tessiturali previste dal USDA sono le seguenti (in parentesi le sigle dei codici ERSAL):

- sabbiosa (S)
- sabbioso-franca (SF)
- limosa (L)
- franco-sabbiosa (FS)
- franca (F)
- franco-limosa (FL)
- franco-sabbioso-argillosa (FSA)
- franco-argillosa (FA)
- franco-limoso-argillosa (FLA)

- argilloso-sabbiosa (AS)
- argilloso-limosa (AL)
- argillosa (A)

Scheda Fasi di Serie	
Sigla	CIC1/ZIT1
Nome	-
Serie	CIC1/ZIT1
Caratteri specifici della fase	
Morfologia	Dosso di antico argine naturale
Drenaggio	Buono
Permeabilità	Moderatamente bassa
Parent material	depositi alluvionali calcarei medi
Distribuzione	CIC1 nelle porzioni leggermente rilevate e meglio drenate; ZIT1 nelle aree depresse, a minore drenaggio e maggiore influenza della falda.
Caratteristiche ambientali	
Uso del Suolo	erba medica e altre colture foraggiere
Proprietà applicative	
I suoli appartenenti all'Unità Cartografica CIC1/ZIT1 sono adatti all'agricoltura (IIw), presentando moderate limitazioni legate principalmente alla dinamica idrica del suolo e alla permeabilità moderata, che richiedono una adeguata gestione agronomica e una opportuna scelta colturale; risultano adatti allo spandimento dei reflui zootecnici (S2), con lievi limitazioni connesse al rischio di ristagno idrico nelle porzioni più depresse; sono moderatamente adatti allo spandimento dei fanghi di depurazione (S3), con limitazioni legate alle caratteristiche chimico-fisiche del suolo e alla capacità di scambio cationico; presentano una capacità protettiva moderata (M) nei confronti delle acque superficiali, in relazione al comportamento idrologico e al potenziale di runoff, e da moderata a elevata (M–E) nei confronti delle acque sotterranee; il valore naturalistico è generalmente basso (B), in relazione all'uso agricolo prevalente e al grado di antropizzazione.	

Scheda Serie	
Sigla	CIC/ZIT
Nome	CICOGNA; ZIBIDO TORRE
Caratteri generali	

Descrizione	I suoli CIC presentano orizzonti superficiali spesso 25 cm con colori bruno oliva, scheletro assente o scarso, tessitura franco-sabbiosa, non calcareo, a reazione subacida. Gli orizzonti profondi hanno spessore medio di circa 25 cm, con tessitura franco-sabbiosa, colore bruno; scheletro assente o scarso; non calcareo, a reazione subacida o neutra; substrato a partire da 45-70 cm, sabbioso-ghiaioso, non calcareo (raramente può essere scarsamente calcareo). I suoli ZIT presentano un topsoil con spessore medio di 40 cm, colori bruno giallastri, scheletro da assente a comune, tessitura franca, non calcareo, a reazione neutra-subacida. Il subsoil presenta orizzonti profondi spessi 50 cm, a tessitura franco sabbiosa, scheletro da comune a frequente, colori bruni, non calcarei, a reazione subacida. Substrato a partire da 110 cm, sabbioso con presenza variabile di ghiaia.
Morfologia	CIC: superfici subpianeggianti della media e bassa pianura (livello fondamentale) collegate con fondi di paleoalvei; ZIT: Piano alluvionale aperto
Drenaggio	Buono
Permeabilità	CIC: Moderatamente elevata; ZIT: Moderatamente elevata
Parent material	CIC: Depositi fluvioglaciali moderatamente grossolane, non o scarsamente calcaree; ZIT: Depositi sabbiosi talvolta con ghiaia
Substrato	Ghiaie sabbiose silicee
Distribuzione	Settore a Sud-Ovest del Comune di Milano
Prof. utile	> 150
Caratteristiche ambientali	
Soil region	Piana lombarda (Pianura padano – veneta)
UDP	Dossi di forma generalmente allungata, poco rilevati e dolcemente raccordati alle superfici adiacenti. Sono diffusi soprattutto nelle piane alluvionali di tracimazione e meandriformi.
Uso del Suolo	CIC: Cereali tipo mais; ZIT: Cereali tipo mais
Classificazioni	
USDA	CIC: corse loamy over sandy or sandy skeletal, mixed, superactive, mesic, Dystric Eutrudepts; ZIT: coarse loamy, mixed, superactive, mesic, Dystric Eutrudepts
FAO	Gleyc Cambisols
Genesi ed evoluzione dei suoli	
Processi genetici	CIC: Lisciviazione; ZIT: Alterazione parent material, lisciviazione
Orizzonti genetici	CIC: Ap-Bw-BC-C; ZIT: Ap-Bw-C
Orizzonti diagnostici	Epipedon Ochrico, orizzonte cambico

Fasi di serie presenti nell'area	
CIC1/ZIT1	CICOGNA Franco sabbiosa / ZIBIDO TORRE franca
Profilo rappresentativo della serie	
Codice profilo	CIC1:P14/18; ZIT1: P27/19

FIGURA 16: PROFILO RAPPRESENTATIVO DELLA SERIE CIC 1 P14/18

3.2.2 ULTERIORI APPROFONDIMENTI

A completamento dell'indagine pedologica, ad integrazione delle informazioni desunte dalla cartografia e dalla banca dati regionale dei suoli, è stata consultata la documentazione del Servizio Suoli e Risorse Naturali (SSR) relativa al territorio della pianura milanese, nell'ambito del Progetto "Carta Pedologica", riferita ai contesti di pianura alluvionale della Lombardia occidentale, entro cui ricade il Comune di Settimo Milanese.

Tale ricostruzione storica della componente pedologica, ha la finalità di fornire ulteriori informazioni per completare la descrizione del suolo oggetto di studio e supportare l'implementazione di ulteriori valutazioni, tra queste quelle ecosistemiche.

Il lavoro trae origine da una fotointerpretazione fisiografica preliminare a seguito di un rilevamento che ha portato alla stesura di una carta pedologica pubblicata alla scala 1:25.000 (scala di lavoro) da parte dell'allora ERSAL nel 1991.

Il lavoro è un riferimento storico nel quadro delle conoscenze utili alla gestione dei suoli e delle risorse ambientali nella pianura ostigliese. La carta pedologica viene presentata alla scala 1:25.000 (scala di lavoro) e costituisce la base dell'allestimento di fogli pedologici alla scala 1:50.000 del sistema cartografico regionale.

Per questo, oltre alla carta pedologica, sono stati redatti strumenti applicativi derivati, rivolti a specifici problemi di governo del territorio, quali la valutazione delle potenzialità agronomiche ed un primo inquadramento dell'attitudine pedologica. Il lavoro prodotto da ERSAL rappresenta la base propedeutica per le successive implementazioni di rilevanza dell'ambiente pedologico in un'ottica di implementazione dei servizi ecosistemici.

L'area oggetto di studio ricade nella Unità Cartografica 34, così definita dal punto di vista pedologico:

- **Unità di Paesaggio** = Aree ondulate poste in prossimità degli alvei attuali o estinti (paleoalvei) di poco rilevate rispetto al paesaggio circostante
- **Sottounità di paesaggio** = ampi dossi formati dalla tracimazione del PO, adiacente al suo argine principale.

Per gli aspetti riferiti al catalogo regionale dei suoli, l'area oggetto di studio viene classificata nella Unità Cartografica CIC1, facente parte dell'unità di pedopaesaggio LW1, che descrive i suoli appartenenti alla fase come di seguito:

Classificazione:	Coarse loamy, mixed, superactive, mesic, Dystric Eutrudepts
Morfologia:	Piano alluvionale aperto
Litologia:	Depositi fluvioglaciali moderatamente grossolane, non o scarsamente calcaree
Uso del Suolo:	Cereali tipo mais
Drenaggio:	buono
Ap (0-40 cm)	poco umido; colore matrice umido da bruno a bruno scuro (10YR4/3); franco-sabbioso; scheletro comune, piccolo e molto piccolo; struttura poliedrica angolare grande con aggregazioni moderatamente sviluppate; non calcareo; pori comuni, medi; limite inferiore abrupto, lineare.
Bw (40-55 cm)	poco umido; colore matrice umido da bruno a bruno scuro (10YR4/3); franco-sabbioso; scheletro comune, piccolo e molto piccolo; struttura poliedrica angolare grande con aggregazioni moderatamente sviluppate; non calcareo; pori comuni, fini; limite inferiore abrupto, lineare.
C (55 -120 cm)	poco umido; colore matrice umido bruno grigiastro molto scuro (10YR3/2); franco-sabbioso; scheletro abbondante, piccolo e molto piccolo; struttura poliedrica subangolare grande con aggregazioni debolmente sviluppate; non calcareo; pori pochi, molto fini; limite inferiore sconosciuto.

Analisi chimico fisiche del profilo CIC1

Orizzonte	Profondità		pH in acqua	Calcare totale (%)	Carbonio Organico (%)	Sostanza Organica (%)
Ap	0	40	7,0	0,0	2,75	4,73
Bw	40	55	8,1	0,0	1,67	2,8724
C	55	120	8,1	0,0	0,90	1,548

FIGURA 17: PROFILO ICONOGRAFICO CIC1

Per gli aspetti riferiti al catalogo regionale dei suoli, l'area oggetto di studio viene classificata nella Unità Cartografica ZIT1, facente parte dell'unità di pedopaesaggio LW1, che descrive i suoli appartenenti alla fase come di seguito:

Classificazione:	coarse loamy, mixed, superactive, mesic, Dystric Eutrudepts
Morfologia:	Piano alluvionale aperto
Litologia:	Depositi sabbiosi talvolta con ghiaia
Uso del Suolo:	Cereali tipo mais

Drenaggio:	buono
Ap (0-30 cm)	umido (capacita' di campo); colore matrice umido bruno giallastro scuro (10YR4/4); franco-sabbioso; non calcareo; pori comuni, fini; limite inferiore abrupto, lineare.
Bw (30-48 cm)	umido (capacita' di campo); colore matrice umido bruno forte (7,5YR4/6); franco-sabbioso; non calcareo; pori comuni, fini; limite inferiore abrupto, lineare.
2C1 (48 -60 cm)	bagnato (acqua libera, anche falda); colore matrice umido bruno giallastro scuro (10YR4/4); franco-sabbioso; scheletro abbondante, molto piccolo e piccolo; non calcareo; pori pochi, fini; limite inferiore abrupto, irregolare.
2C2 (60–70 cm)	bagnato (acqua libera, anche falda); colore matrice umido da bruno scuro a bruno (7,5YR4/4); scheletro frequente, piccolo e medio; non calcareo; pori pochi, fini; limite inferiore abrupto, irregolare.
C3 (<70 cm)	bagnato (acqua libera, anche falda); scheletro abbondante, piccolo e medio; non calcareo; pori pochi, fini; limite inferiore sconosciuto.

Analisi chimico fisiche del profilo ZIT1

Orizzonte	**Profondità**		**pH in acqua**	**Calcare totale (%)**	**Carbonio Organico (%)**	**Sostanza Organica (%)**
Ap	0	30	5,9	0,0	1,10	1,892
Bw	30	48	6,6	0,0	0,46	0,7912
2C1	48	60	6,8	0,0	0,38	0,6536

FIGURA 18: PROFILO ICONOGRAFICO ZIT1

3.2.3 CONCLUSIONI

La ricostruzione storica delle caratteristiche pedologiche rappresenta un quadro di informazioni utili per le successive elaborazioni, in correlazione a quanto proposto nella pubblicazione "Pedopaesaggi della Provincia di Milano", affrontate nella Relazione Tecnica Integrativa allo Studio di Impatto Ambientale.

Dal punto di vista territoriale, infine, le fasi sono le entità che vengono riconosciute e cartografate mediante una loro organizzazione in Unità Cartografiche.

In sintesi, sulla base della scheda *LOSAN di ERSAF* relativa all'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, i suoli presenti nell'area di intervento sono caratterizzati da:

- buona attitudine agricola, in particolare per la componente ZIT1, descritta da *LOSAN* come utilizzabile per tutte le colture e con pochissimi fattori limitanti all'uso agricolo;
- tessitura prevalentemente media o moderatamente grossolana, coerente con una buona lavorabilità del suolo e con condizioni favorevoli allo sviluppo radicale;
- buone condizioni di drenaggio e infiltrazione, tali da contribuire alla regolazione del ciclo idrologico locale;
- capacità protettiva del suolo significativa, rilevante rispetto alla funzione di filtro e protezione delle acque;
- limitazioni specifiche per alcuni usi agronomici, in particolare per lo spandimento di liquami zootecnici e fanghi di depurazione, legate a granulometria, pH e capacità di scambio cationico;
- buona funzionalità pedologica complessiva, con un ruolo rilevante nel mantenimento della fertilità, nel supporto alla vegetazione, nella regolazione idrica e nella conservazione dei servizi ecosistemici locali.

3.3 SERVIZI ECOSISTEMICI PERSI O COMPROMESSI

La valutazione dei servizi ecosistemici (SE) è un processo complesso, poiché per la valutazione di ciascun servizio ci sono mondi di competenze scientifiche di ambiti differenti da integrare e dati la cui disponibilità è variegata per accuratezza, scala, aggiornamento, etc.

Mentre per la valutazione di alcuni SE la metodologia è piuttosto consolidata, come ad es. la valutazione dello stoccaggio di carbonio, e il riferimento per la trattazione verte sull'approfondimento delle fonti di dati, per altri, non essendo ancora consolidati, si stanno sperimentando diverse modalità di valutazione (ISPRA 2018).

ISPRA propone una valutazione a scala nazionale attraverso la stima della variazione di SE conseguente al consumo di suolo prodotto ogni anno. Viene considerata sia la variazione dei servizi offerti, sia la variazione dello stock di risorse, a seconda dei casi e in funzione di metodi e dati disponibili. Questo è un aspetto attualmente oggetto di discussione e approfondimento, in particolare rispetto alla componente di perdita di capacità degli ecosistemi all'interno dell'impatto complessivo, che va oltre la valutazione del servizio effettivamente fornito e assume secondo alcuni un ruolo simile a quello della perdita dello stock di risorse.

È opportuno rilevare che la valutazione dei SE a scala nazionale incontra un importante problema riguardante la disponibilità di banche dati idonee a scala nazionale. È infatti del tutto evidente che alcune banche dati ambientali, in particolare nel caso dei suoli, sono assolutamente deficitarie rispetto alla necessità.

Un esempio riguarda l'implementazione di metodi biofisici robusti, come quelli su base fisica, e capaci di quantificare importanti SE riguardanti le produzioni o il ciclo dell'acqua non sono sempre o difficilmente applicabili.

Quindi le valutazioni dei SE prodotte da ISPRA a scala nazionale, pur nella loro grande rilevanza, devono essere utilizzate con molta cautela quando adottate a scala locale.

Prendendo spunto da alcuni dei servizi proposti già nella prima edizione della valutazione nazionale (ISPRA, 2016), sviluppati nell'ambito di progetti specifici come, ad esempio, il progetto Life SAM4CP, sono stati considerati alcuni SE per la loro robustezza in termini di disponibilità dei dati.

La edizione del 2018 di ISPRA propone un set di SE che vengono di seguito elencati:

Servizi	**u.m. biofisica**	**u.m. economica**	**ISPRA Rapporto 2018**
Stoccaggio e sequestro di carbonio			
Flusso	t/ha	€/t	x
Stock	t/ha	€/t	x
Qualità degli habitat	adim	€/ha	x
Produzione agricola			
Flusso	ha	€/ha	x
Stock	ha	€/ha	x
Produzione di legname			
Flusso	m3	€/m3	x
Stock		€/ha	x
Impollinazione	adim	€/ha	x
Regolazione del microclima	stima	stima	x
Rimozione particolato e ozono	t/ha	€/t	x
Protezione dall'erosione	t/ha	€/t	x
Disponibilità di acqua	m3	€/m3	x
Regolazione del regime idrologico	m3	€/m3	x
Purificazione dell'acqua	adim	€/ha/anno	x
Supporto alle attività umane	adim	-	x

Tenuto presente che nelle analisi relative al consumo di suolo la dimensione spaziale è imprescindibile, è necessario utilizzare modelli spazialmente espliciti, per le finalità della pianificazione anche locale ed è indispensabile considerare servizi che possano essere quantificati.

A tal fine, e per i dati che si hanno a disposizione sulle caratteristiche dei suoli, specificatamente la componente pedologica, descritta nella relazione in evasione alla richiesta 7 di Regione

Lombardia, verrà condotta sui seguenti Servizi, ritenendolo rappresentativi per l'indagine sull'area in oggetto:

- Regolazione idrologica: riduzione delle capacità di infiltrazione e ritenzione idrica
- Stoccaggio del carbonio: perdita di carbonio organico nel suolo.
- Biodiversità: riduzione delle funzionalità ecologiche e degli habitat.
- Protezione dall'erosione: indebolimento della stabilità superficiale.
- Valori paesaggistici: trasformazione del paesaggio agricolo.
- Produttività agricola: perdita definitiva di aree fertili.

Il progetto determina una trasformazione permanente e non reversibile del suolo agricolo ricadente nell'ambito pedologico CIC1/ZIT1, così come riconducibile alla classificazione della Banca Dati Suoli LOSAN–ERSAF. Tale unità è riferibile a suoli evoluti su depositi fluvioglaciali moderatamente grossolani, non calcarei o scarsamente calcarei, con tessiture a prevalente componente sabbiosa e ghiaiosa, caratterizzati da buona permeabilità, drenaggio generalmente efficiente e ridotta presenza di fattori limitanti all'utilizzazione agronomica. In particolare, la componente ZIT1 viene descritta da LOSAN come suolo con pochissimi fattori limitanti l'uso e quindi utilizzabile per tutte le colture, condizione che conferma l'elevato valore funzionale, produttivo e ambientale della risorsa pedologica interessata dall'intervento. La trasformazione in superfici artificiali e impermeabili comporta pertanto la perdita definitiva delle funzioni ecosistemiche originariamente svolte da questi suoli agricoli, con effetti diretti sul bilancio idrologico, sulla fertilità, sulla biodiversità edafica, sulla capacità produttiva e sulla qualità paesaggistica del contesto.

Dal punto di vista idrologico, i suoli CIC1/ZIT1 svolgono una funzione particolarmente rilevante grazie alla loro matrice granulometrica relativamente grossolana e alla buona continuità porale. La presenza di sabbie e ghiaie, associata a una struttura pedologica stabile e a un profilo sufficientemente sviluppato, favorisce l'infiltrazione delle acque meteoriche, la percolazione verso gli orizzonti profondi e il contributo alla ricarica della falda. Prima dell'intervento, il suolo era in grado di assorbire, trattenere e rilasciare gradualmente l'acqua, riducendo la formazione di ruscellamento superficiale e contribuendo alla laminazione naturale degli eventi meteorici intensi. Tale funzione risultava rafforzata dalla copertura vegetale agricola e dagli apparati radicali, che miglioravano la porosità biologica e la continuità dei percorsi di infiltrazione. Con l'impermeabilizzazione, questa funzione viene sostanzialmente annullata: l'acqua meteorica non entra più nel profilo pedologico, non alimenta i processi di ricarica locale e viene convogliata rapidamente verso le reti di raccolta e smaltimento, determinando un aumento dei deflussi superficiali, una maggiore velocità di corrivazione e una pressione superiore sui sistemi di drenaggio.

Risulta inoltre compromessa la funzione di regolazione del ciclo del carbonio. I suoli agricoli appartenenti a unità di buona qualità agronomica, come CIC1/ZIT1, costituiscono serbatoi di carbonio organico derivante dall'accumulo e dalla trasformazione della sostanza organica, dai residui colturali, dall'attività radicale e dai processi microbiologici che avvengono negli orizzonti superficiali e sub-superficiali. La sostanza organica contribuisce alla stabilità strutturale, alla capacità di scambio cationico, alla disponibilità di nutrienti e alla resilienza del suolo rispetto a

compattazione e stress idrici. L'asportazione, il rimaneggiamento o la sigillatura del profilo pedologico determinano l'interruzione di tali processi e la perdita della capacità del suolo di accumulare nuovo carbonio. Nelle aree impermeabilizzate, il suolo non funziona più come matrice biologicamente attiva e viene meno il contributo al sequestro di carbonio, con una perdita che deve essere considerata permanente alla scala del sito.

La trasformazione incide anche sulla funzione di protezione fisica del suolo e stabilità pedologica. In condizioni agricole, la presenza di aggregati stabili, copertura vegetale, residui colturali e radici consente di limitare il distacco e la mobilizzazione delle particelle fini, preservando la continuità del profilo e la funzionalità degli orizzonti pedogenetici. Nei suoli CIC1/ZIT1, la tessitura moderatamente grossolana favorisce il drenaggio, ma richiede al tempo stesso il mantenimento della struttura e della copertura superficiale per evitare impoverimento, destrutturazione o perdita selettiva della frazione fine. L'artificializzazione non produce semplicemente una variazione d'uso, ma elimina il sistema suolo come corpo naturale: la funzione di protezione dall'erosione non viene più esercitata perché il profilo viene sottratto ai processi pedologici attivi. Anche se una superficie impermeabile non è direttamente soggetta a erosione pedologica ordinaria, viene meno la capacità del suolo agricolo di contribuire alla stabilità del paesaggio fisico e alla conservazione della risorsa pedologica.

Particolarmente significativa è la perdita della produttività agricola. La classificazione LOSAN attribuisce ai suoli ZIT1 pochissimi fattori limitanti e un'elevata idoneità all'uso agricolo, fino a considerarli utilizzabili per tutte le colture. Questo aspetto evidenzia il valore agronomico dell'unità CIC1/ZIT1, che presenta condizioni favorevoli per lo sviluppo radicale, il drenaggio, la lavorabilità e la gestione colturale. La conversione in superfici impermeabili determina la sottrazione permanente di suolo fertile e annulla la possibilità di produzione primaria agricola. Tale perdita non riguarda solo la superficie fisicamente occupata, ma anche il capitale naturale incorporato nel suolo: fertilità, struttura, sostanza organica, capacità di scambio, attività biologica e funzionalità idrica. Nelle aree sigillate, la funzione produttiva non è recuperabile mediante semplici opere di mitigazione, poiché viene meno il substrato pedologico necessario allo svolgimento dell'attività agricola.

La trasformazione comporta inoltre la compromissione della biodiversità edafica. Il suolo agricolo attivo ospita comunità complesse di batteri, funghi, micorrize, microartropodi, anellidi e altri organismi che concorrono alla decomposizione della sostanza organica, alla formazione degli aggregati, alla mineralizzazione dei nutrienti e alla regolazione dei cicli biogeochimici. Nei suoli CIC1/ZIT1, la buona funzionalità agronomica è strettamente legata anche a questa componente biologica, che sostiene la fertilità e la capacità del suolo di rispondere agli apporti organici e alle pratiche colturali. L'impermeabilizzazione interrompe gli scambi gassosi, idrici ed energetici tra suolo e atmosfera, elimina gli habitat edafici e determina la scomparsa delle comunità biologiche presenti negli orizzonti interessati. La perdita non è quindi limitata alla componente fisica del suolo, ma riguarda l'intero sistema ecologico sotterraneo e i processi che ne dipendono.

Un'ulteriore funzione compromessa è quella di regolazione microclimatica. Il suolo agricolo vegetato contribuisce al controllo delle temperature locali attraverso evapotraspirazione, scambio di umidità, assorbimento e rilascio graduale dell'energia solare. La presenza di superfici coltivate consente una maggiore dissipazione del calore rispetto a superfici artificiali minerali o pavimentate. La sostituzione del suolo CIC1/ZIT1 con superfici impermeabili determina un

incremento dell'assorbimento termico, una riduzione dell'evapotraspirazione e una maggiore restituzione di calore sensibile, con possibile peggioramento del microclima locale e incremento dell'effetto isola di calore. La perdita della matrice vegetata e pedologica modifica quindi il bilancio energetico superficiale e riduce la capacità dell'area di contribuire alla mitigazione climatica a scala locale.

Devono infine essere considerati gli effetti sui valori paesaggistici, percettivi e culturali. Il suolo agricolo appartenente all'unità CIC1/ZIT1 non rappresenta soltanto una risorsa produttiva, ma anche un elemento strutturante del paesaggio rurale. La continuità delle superfici coltivate, la leggibilità della trama agraria e la relazione tra suolo, colture e orizzonte aperto concorrono alla qualità percettiva e identitaria del contesto. La trasformazione in superfici artificiali altera tale continuità, riduce la naturalità percepita e introduce elementi estranei alla matrice agricola originaria. Le opere di mitigazione, quali fasce arboree, arbustive e nuove piantumazioni, possono contribuire a contenere l'impatto visivo, migliorare l'inserimento paesaggistico e ricostruire nel tempo alcune funzioni ecologiche, ma non possono ripristinare integralmente il valore pedologico e agrario del suolo originario.

Nel complesso, la trasformazione delle superfici agricole appartenenti alla categoria CIC1/ZIT1 determina una perdita significativa, permanente e localmente irreversibile dei principali servizi ecosistemici forniti dal suolo. La sigillatura comporta l'interruzione del funzionamento idrologico naturale, l'azzeramento della capacità produttiva agricola, la perdita della biodiversità edafica, la riduzione della funzione di sequestro del carbonio, la compromissione della regolazione microclimatica e l'alterazione del paesaggio rurale. Le misure compensative, inclusa l'eventuale realizzazione di nuove superfici boscate o fasce vegetate, assumono un ruolo essenziale per ricostituire nel medio-lungo periodo nuove funzioni ecologiche e migliorare la resilienza complessiva del sistema ambientale; tuttavia, esse non eliminano il carattere irreversibile della perdita in sito del suolo CIC1/ZIT1, soprattutto in relazione alla sua qualità agronomica, alla sua capacità di infiltrazione e alla sua funzione di capitale naturale non rinnovabile alla scala temporale dell'intervento.

3.4 PATRIMONIO AGROALIMENTARE E VOCAZIONE AGRICOLA ANTE OPERAM

Con riferimento al patrimonio agroalimentare ante trasformazione, si evidenzia che l'area oggetto di intervento non presentava caratteristiche riconducibili a un ambito agricolo produttivo né risultava interessata da coltivazioni, ordinamenti colturali o produzioni agroalimentari di rilievo. Lo stato dei luoghi ante operam era infatti caratterizzato da un'area interclusa all'interno di un contesto già fortemente antropizzato, compreso tra ambiti a prevalente destinazione industriale/produttiva, priva di continuità funzionale con il sistema agricolo circostante e non inserita in una matrice agroecosistemica attiva. Alla luce di tali condizioni, l'intervento non determina impatti significativi sul patrimonio agroalimentare locale, né comporta sottrazione di superfici agricole effettivamente produttive o riduzione apprezzabile della vocazione agroalimentare dell'area vasta. In coerenza con i criteri di valutazione richiamati dalle Linee Guida ISPRA n. 28/2020, la trasformazione non incide su ambiti agricoli strategici, su produzioni tipiche o di qualità, né su sistemi rurali caratterizzati da specifica valenza produttiva, paesaggistica o identitaria.

3.5 SUOLO OBIETTIVO E MODALITÀ OPERATIVE DI RICOSTITUZIONE

In ottemperanza alla richiesta 7.8, per la realizzazione delle aree a verde previste dal progetto e delle eventuali superfici oggetto di compensazione viene adottato lo strumento del ***"suolo obiettivo"***, secondo l'impostazione metodologica richiamata dalle **Linee Guida ISPRA 65.2/2010 – Trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture**.

Ai fini della presente relazione, il suolo obiettivo è inteso come la configurazione pedologica finale da conseguire mediante le operazioni di ripristino, ricostituzione e messa in posto del materiale terroso. Esso rappresenta quindi un vero e proprio suolo di progetto, definito non come semplice apporto di terreno vegetale, ma come sistema pedologico dotato di caratteristiche fisiche, chimiche, idrologiche e biologiche idonee a garantire, nel tempo, lo sviluppo della vegetazione prevista e il recupero delle principali funzioni ecosistemiche del suolo.

Coerentemente con quanto indicato dalle Linee Guida ISPRA 65.2/2010, l'obiettivo del ripristino non è quello di ricostruire immediatamente un suolo maturo e completamente evoluto, ma di mettere in posto un suolo in uno stato iniziale tecnicamente idoneo, capace di evolvere progressivamente verso condizioni di equilibrio. Tale evoluzione dovrà avvenire attraverso la colonizzazione da parte degli apparati radicali, della microflora, della fauna edafica e dei microrganismi del suolo, fino al raggiungimento di un assetto stabile, resiliente ai fenomeni degradativi e in grado di svolgere le proprie funzioni ambientali.

La definizione del suolo obiettivo è stata effettuata sulla base delle informazioni disponibili per il contesto territoriale di riferimento, desunte sia da fonti bibliografiche e cartografiche ufficiali, tra cui la Carta dei Suoli della Lombardia, sia dalle valutazioni pedologiche condotte in prossimità del sito di intervento. In particolare, sono stati considerati i principali caratteri dei suoli locali, quali: **tessitura, profondità utile, drenaggio, permeabilità, presenza di scheletro, struttura, contenuto di sostanza organica, reazione del suolo, capacità di ritenzione idrica e attitudine al supporto della vegetazione**.

Sulla base di tali elementi, il suolo obiettivo dovrà garantire una struttura in **continuità pedologica ed ecosistemica** con il contesto locale. Le aree a verde e le superfici destinate alle mitigazioni dovranno quindi essere progettate e realizzate come superfici pedologicamente funzionali, capaci di contribuire all'infiltrazione delle acque meteoriche, alla ritenzione idrica, al supporto degli apparati radicali, alla riattivazione biologica del suolo, allo stoccaggio di sostanza organica e carbonio e, più in generale, al recupero delle funzioni ecosistemiche proprie delle superfici permeabili. Per le superfici destinate alla compensazione, non essendo previsti interventi di asportazione o riporto di suolo, il criterio del **suolo obiettivo** è applicato come riferimento per la conservazione delle condizioni pedologiche esistenti e per la definizione di interventi vegetazionali coerenti con il contesto locale.

Dal punto di vista operativo, in applicazione delle indicazioni delle Linee Guida ISPRA 65.2/2010, prima della messa in posto del suolo dovrà essere predisposta la **morfologia definitiva** delle aree interessate. Dovranno pertanto essere verificate le quote finali, le pendenze, i raccordi con le superfici limitrofe e l'eventuale necessità di opere di drenaggio o regimazione delle acque meteoriche. La ricostituzione del suolo dovrà avvenire solo dopo il completamento delle lavorazioni morfologiche principali, evitando che successivi transiti di mezzi, livellamenti o movimentazioni possano compromettere la struttura del materiale pedologico già collocato.

La messa in posto dovrà prevedere una sequenza funzionale degli strati, evitando miscelazioni improprie tra materiali terrosi con caratteristiche differenti. Gli eventuali orizzonti superficiali precedentemente scoticati e accantonati dovranno essere ricollocati rispettandone, per quanto tecnicamente possibile, l'ordine originario. Il materiale maggiormente fertile, strutturato e ricco di sostanza organica dovrà essere destinato allo strato superficiale, mentre i materiali a minore grado di evoluzione potranno essere impiegati negli strati inferiori, purché compatibili dal punto di vista fisico, idrologico e agronomico.

Il materiale destinato allo strato superficiale dovrà essere costituito preferibilmente da **terreno pedogenizzato**, privo di rifiuti, materiali inerti, residui di demolizione, frazioni grossolane eccessive, contaminazioni o elementi estranei alla matrice naturale del suolo. Dovrà inoltre presentare caratteristiche idonee allo sviluppo della vegetazione prevista, con particolare riferimento alla fertilità fisica, alla stabilità strutturale, alla capacità di infiltrazione e alla sufficiente porosità per l'aerazione e l'approfondimento radicale.

Il ricorso a materiale non pedogenizzato, ossia derivante prevalentemente da disgregazione fisica del substrato, potrà essere ammesso esclusivamente per gli strati inferiori del profilo ricostituito o nei casi in cui il suolo obiettivo presenti profondità limitate. Tale materiale dovrà comunque essere valutato preventivamente, al fine di escludere condizioni sfavorevoli quali eccessiva compattazione, bassa permeabilità, comportamento idrologico non idoneo o incompatibilità con lo sviluppo degli apparati radicali. Particolare attenzione dovrà essere posta alla preparazione dello strato di contatto tra il sottofondo e il materiale terroso ricollocato. Qualora il piano di posa sia stato interessato da passaggi di mezzi di cantiere, compattazioni o lavorazioni che ne abbiano ridotto la porosità, esso dovrà essere preventivamente scarificato, decompattato o lavorato in profondità. Tale accorgimento è necessario per evitare la formazione di discontinuità fisiche o idrologiche alla base del suolo ricostituito, che potrebbero determinare ristagni idrici, riduzione dell'infiltrazione, peggioramento del drenaggio e limitazioni all'approfondimento radicale.

Le operazioni di messa in posto dovranno essere effettuate con macchine idonee, preferibilmente leggere e con buona ripartizione del carico, limitando il più possibile il numero di passaggi sulle superfici già sistemate. In coerenza con le cautele operative richiamate dalle Linee Guida ISPRA 65.2/2010, le lavorazioni dovranno essere eseguite in condizioni di umidità del terreno compatibili con la conservazione della struttura. Dovrà essere evitato l'intervento su materiali bagnati, plastici o facilmente deformabili, in particolare in condizioni assimilabili a valori di tensione dell'acqua nel suolo indicativamente inferiori a **pF**[1] **1,8–2**, poiché tali condizioni aumentano il rischio di compattazione, destrutturazione, riduzione della permeabilità e formazione di strati induriti non idonei allo sviluppo radicale.

Qualora le caratteristiche del materiale disponibile non risultino pienamente coerenti con il suolo obiettivo, potranno essere previsti interventi di correzione e miglioramento mediante miscelazione controllata con materiali terrosi compatibili, ammendanti organici maturi e, ove necessario, concimazioni di fondo. Tali interventi dovranno essere eseguiti prima della stesa definitiva del terreno, in modo da garantire omogeneità del materiale e limitare successive

[1] Il **pF** è un indice dello stato idrico del suolo: valori bassi indicano terreno molto umido e più suscettibile a compattazione, perdita di struttura e riduzione della permeabilità durante le lavorazioni.

rilavorazioni. L'apporto di sostanza organica dovrà essere finalizzato al miglioramento della fertilità fisica e biologica del suolo, evitando tuttavia eccessivi affinamenti della matrice, amminutamenti spinti o ripetuti passaggi di mezzi, che potrebbero determinare perdita di struttura e incremento della compattazione.

Nelle aree caratterizzate da pendenze, raccordi morfologici, scarpate o superfici potenzialmente soggette a ruscellamento, la realizzazione del suolo obiettivo dovrà essere accompagnata da specifici **accorgimenti antierosivi**. Potranno essere previsti, in funzione delle condizioni locali, modellazione controllata delle superfici, riduzione delle lunghezze di deflusso, regimazione delle acque superficiali, tempestivo inerbimento, pacciamatura o altre tecniche di protezione dello strato superficiale. Tali misure sono necessarie per evitare la perdita del materiale fertile, il dilavamento della sostanza organica e la riduzione della funzionalità pedologica nelle fasi iniziali successive al ripristino. Il suolo obiettivo dovrà pertanto configurarsi come un profilo pedologico tecnicamente ricostituito, idoneo allo sviluppo della vegetazione di progetto e coerente con le caratteristiche dei suoli presenti nel contesto locale. Le principali prestazioni attese riguardano il supporto agli **apparati radicali**, la capacità di **infiltrazione** e **ritenzione** delle acque meteoriche, la riattivazione della componente **biologica del suolo**, l'accumulo di **sostanza organica**, il contributo allo **stoccaggio del carbonio**, la mitigazione microclimatica e il mantenimento delle funzioni ecosistemiche delle superfici permeabili.

In conclusione, secondo l'approccio indicato dalle Linee Guida ISPRA 65.2/2010, il suolo obiettivo costituisce il riferimento tecnico-operativo per la progettazione e la realizzazione delle aree verdi e compensative. Tali superfici non dovranno essere considerate come semplici aree rinverdite mediante apporto superficiale di terreno, ma come porzioni di suolo ricostituite secondo criteri pedologici, in grado di garantire nel tempo una effettiva continuità pedologica, idrologica ed ecosistemica con il sistema ambientale locale.

FIGURA 19: SCHEMA CONCETTUALE DEL SUOLO OBIETTIVO PER AREE A VERDE E MITIGAZIONE. IL PROFILO RICOSTITUITO INDIVIDUA GLI STRATI FUNZIONALI NECESSARI A GARANTIRE CONTINUITÀ PEDOLOGICA, IDROLOGICA ED ECOSISTEMICA CON IL CONTESTO LOCALE, SECONDO L'APPROCCIO DELLE LINEE GUIDA ISPRA 65.2/2010.

4. MISURE DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE

4.1 MITIGAZIONE (7.111 M²)

Le misure di mitigazione previste dal progetto includono la realizzazione di fasce arborate e arbustive disposte lungo il perimetro dell'area di intervento, progettate con l'obiettivo di ridurre l'impatto visivo dell'infrastruttura, migliorare la qualità ecologica del margine e ricostituire, ove possibile, alcune delle funzioni ecosistemiche perse con l'impermeabilizzazione del suolo. La configurazione delle fasce verdi, così come descritta nell'Allegato 1 Relazione generale - Progetto "Data Center ML5" - Progetto di mitigazioni, rappresenta una soluzione calibrata sul contesto territoriale specifico e risponde alla richiesta di integrazione pervenuta dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), datata 22/01/2026, in relazione alla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) del progetto ML5/6.

L'impostazione progettuale delle opere di mitigazione è stata sviluppata con l'obiettivo di favorire l'integrazione dell'intervento nel contesto paesaggistico ed ecologico esistente, rafforzando la qualità ambientale del lotto e valorizzando le componenti vegetazionali già presenti. Allo stato attuale, infatti, la componente arborea risulta già ampiamente consolidata; per questo motivo gli interventi sulle alberature sono limitati alla sostituzione degli esemplari non più vitali, così da ripristinare la continuità del sistema verde senza modificare in modo significativo l'assetto vegetazionale esistente. Le nuove opere a verde interessano quindi prevalentemente la componente arbustiva ed erbacea, con soluzioni progettuali orientate sia alla mitigazione visiva dei volumi tecnologici sia al potenziamento delle funzioni ecologiche dell'area. Lungo il margine meridionale del lotto è stata realizzata una siepe mista composta da prugnolo e biancospino, già messa a dimora, che contribuisce alla definizione del limite dell'area e alla costruzione di un margine vegetale coerente con le formazioni campestri tradizionali della pianura lombarda. L'alternanza tra le due specie consente di evitare l'effetto artificiale delle siepi monospecifiche, garantendo una maggiore naturalità percettiva grazie alle fioriture primaverili, alle fruttificazioni autunnali e alla variazione stagionale del fogliame. Dal punto di vista ecologico, tale formazione rappresenta un elemento utile per insetti impollinatori, avifauna e piccola fauna, offrendo risorse trofiche, rifugio e potenziali siti di nidificazione.

Lungo il margine orientale è prevista una fascia arbustiva pluristratificata, composta da specie autoctone o storicamente consolidate nel paesaggio rurale lombardo, selezionate anche in coerenza con gli indirizzi del Parco Agricolo Sud Milano. La presenza di arbusti e piccoli alberi quali berretto di prete, biancospino, frangola, ligustro, melo selvatico, nocciolo, prugnolo, salici, sambuco, sanguinello e viburni permette di realizzare una struttura vegetale articolata per altezze, densità e portamenti differenti. Tale articolazione incrementa la complessità spaziale del margine, migliorando l'efficacia schermante e al contempo creando condizioni più favorevoli alla biodiversità. Le specie a fioritura precoce, in particolare i salici, offrono risorse nettarifere nelle prime fasi della stagione vegetativa, mentre le specie a bacca prolungano l'offerta alimentare per l'avifauna nei mesi estivi e autunnali. La presenza di specie spinose, come prugnolo e biancospino, rafforza inoltre la funzione protettiva della fascia, favorendo rifugio e nidificazione. In questo senso, la fascia arbustiva non svolge soltanto una funzione di mitigazione visiva, ma si configura come una vera infrastruttura verde lineare, capace di contribuire alla continuità ecologica e alla resilienza ambientale del sito.

A completamento del sistema vegetale sono previste aiuole a erbacee perenni impostate secondo i principi dell'Ecological Plant Design, con l'obiettivo di realizzare comunità vegetali stabili, dinamiche e a ridotta esigenza manutentiva. I miscugli individuati integrano specie strutturali, specie fiorite e specie tappezzanti, in modo da garantire copertura del suolo, continuità ornamentale e valore ecologico durante l'intero arco stagionale. Le graminacee e le perenni strutturali assicurano presenza e leggerezza anche nel periodo invernale, mentre le specie fiorite garantiscono una successione di fioriture dalla primavera all'autunno, favorendo la disponibilità di risorse per api, farfalle e altri insetti pronubi. Le specie tappezzanti contribuiscono invece alla stabilizzazione superficiale del terreno e alla riduzione della competizione delle infestanti, favorendo nel tempo l'equilibrio della comunità vegetale. Particolare attenzione è inoltre rivolta alla gestione sostenibile delle acque meteoriche mediante la realizzazione di rain garden, concepiti come depressioni vegetate in grado di intercettare, rallentare, infiltrare e depurare parzialmente le acque di ruscellamento provenienti dalle superfici impermeabili. La scelta di specie igrofile e mesofile, distribuite secondo un gradiente di umidità, consente di garantire la funzionalità idraulica del sistema e, al tempo stesso, di incrementare la diversità vegetale e faunistica dell'area.

Il progetto prevede infine l'inserimento di dispositivi faunistici artificiali, quali cassette-nido per avifauna, rifugi per chirotteri e hotel per insetti, collocati in relazione alle siepi, alle fasce arbustive e alle aiuole fiorite, così da creare un sistema integrato tra risorse trofiche e siti di rifugio. Tali dispositivi contribuiscono ad aumentare la disponibilità di microhabitat in un contesto trasformato, favorendo la presenza di specie utili all'equilibrio ecosistemico locale e al controllo naturale degli insetti. Sono inoltre previsti passaggi ecologici lungo la recinzione perimetrale, mediante aperture e piccoli varchi idonei al transito della piccola fauna, con l'obiettivo di ridurre l'effetto barriera e favorire la connessione tra le aree verdi interne e il territorio circostante. Nel complesso, le opere previste non assumono una funzione meramente ornamentale o accessoria, ma costituiscono un sistema integrato di mitigazione paesaggistica, ecologica e idraulica. Fasce arbustive, aiuole perenni, rain garden, dispositivi faunistici e passaggi ecologici concorrono alla costruzione di un'infrastruttura verde multifunzionale, capace di migliorare la biodiversità locale, rafforzare la permeabilità ecologica del sito, contribuire alla gestione sostenibile delle acque e favorire un inserimento più equilibrato dell'intervento nel paesaggio circostante.

4.2 COMPENSAZIONE (21.391M²)

L'intervento compensativo interessa due aree distinte, individuate presso il Fontanile Frati e il Fontanile Mussetta e Patellano, per una superficie complessiva pari a 21.391 m², equivalenti a circa 2,14 ettari. Tali ambiti sono ritenuti fondamentali per il riequilibrio ambientale dell'intervento, in quanto destinati ad accogliere azioni di riqualificazione ecologica riconducibili principalmente a due tipologie: piantumazioni arboreo-arbustive e interventi di valorizzazione forestale. In particolare, per il Fontanile Frati le aree di compensazione ammontano complessivamente a 6.889 m², suddivise in una porzione con intervento di rimboschimento pari all'80% della superficie e in una porzione con rimboschimento pari al 100%.

Per il Fontanile Mussetta e Patellano, invece, l'area di compensazione è individuata in 14.502 m², all'interno della quale si prevede un intervento di rimboschimento pari al 30% della superficie oggetto di intervento. Tutti gli interventi proposti prevedono l'impiego esclusivo di specie autoctone, coerenti con i lineamenti fitosociologici delle aree interessate e conformi a quanto

indicato dal PASM nell"'Elenco delle specie arboree ed arbustive autoctone del Parco Agricolo Sud Milano". L'intervento non si configura pertanto come una semplice operazione di messa a dimora, ma come un progetto ecologico articolato, finalizzato a rafforzare la struttura vegetazionale esistente, incrementare la biodiversità e ricostituire, nel medio-lungo periodo, funzioni ambientali oggi assenti, frammentate o solo parzialmente espresse.

Dal punto di vista ecologico, le nuove piantumazioni arboreo-arbustive e le azioni di valorizzazione forestale contribuiranno alla formazione di sistemi vegetali più complessi, stratificati e coerenti con le dinamiche proprie degli ambienti planiziali lombardi. L'impiego di specie autoctone arboree e arbustive, selezionate in relazione alle condizioni stazionali dei fontanili e del territorio agricolo circostante, consentirà di aumentare la diversità floristica e strutturale delle aree, favorendo la creazione di differenti nicchie ecologiche. La componente arborea garantirà progressivamente copertura, ombreggiamento, consolidamento del suolo e accumulo di biomassa, mentre la componente arbustiva svolgerà un ruolo fondamentale nella formazione di margini ecotonali, nella disponibilità di rifugi e nella produzione di risorse trofiche per insetti impollinatori, microfauna, piccoli mammiferi e avifauna. In tal modo, gli ambiti oggetto di compensazione potranno evolvere verso assetti vegetazionali più stabili e naturaliformi, assumendo una funzione ecologica più articolata rispetto allo stato attuale.

Un beneficio rilevante riguarda inoltre il ciclo del carbonio e il miglioramento della qualità dei suoli. La crescita della vegetazione determinerà un progressivo sequestro di CO_2 nella biomassa vegetale, inizialmente nella componente aerea e, con il tempo, anche negli apparati radicali e nella sostanza organica del terreno. La formazione della lettiera, l'apporto di residui vegetali e l'evoluzione dei processi di umificazione favoriranno l'accumulo stabile di carbonio nel suolo, contribuendo al miglioramento della struttura, della fertilità e della capacità di ritenzione idrica. Tali dinamiche permetteranno di attivare un processo graduale di rigenerazione ecologica, i cui effetti risulteranno crescenti nel tempo e strettamente legati alla maturazione degli impianti e alla corretta gestione delle superfici interessate.

Le aree di compensazione individuate potranno inoltre contribuire alla ricomposizione della rete ecologica locale, anche in relazione alla presenza dei fontanili, degli elementi idrografici minori, dei margini agricoli, delle siepi e delle formazioni vegetali esistenti. Le nuove formazioni arboreo-arbustive potranno svolgere una funzione di connessione, rifugio e alimentazione per numerose specie, aumentando la continuità degli habitat e favorendo i processi di dispersione faunistica. In particolare, gli interventi previsti presso il Fontanile Frati e presso il Fontanile Mussetta e Patellano consentiranno di rafforzare il ruolo ecologico di ambiti già caratterizzati da una significativa valenza ambientale, migliorandone la funzionalità e la capacità di supportare biodiversità nel medio-lungo periodo. La valorizzazione forestale degli ambiti interessati non avrà quindi il solo effetto di incrementare la copertura vegetale, ma contribuirà anche a consolidare il ruolo di tali aree all'interno del più ampio sistema ambientale del Parco Agricolo Sud Milano.

Gli interventi previsti avranno infine effetti positivi sulla regolazione idrologica e sul microclima locale. Lo sviluppo degli apparati radicali e l'aumento della sostanza organica contribuiranno a migliorare la permeabilità dei suoli e la loro capacità di trattenere acqua, riducendo il ruscellamento superficiale e favorendo l'infiltrazione delle acque meteoriche. La progressiva formazione di copertura vegetale, attraverso ombreggiamento ed evapotraspirazione, contribuirà inoltre alla mitigazione delle temperature locali e al miglioramento delle condizioni

microclimatiche. Nel complesso, le piantumazioni arboreo-arbustive e gli interventi di valorizzazione forestale previsti nelle due aree di compensazione rappresentano una misura compensativa e rigenerativa, capace di produrre nuovi servizi ecosistemici, aumentare la resilienza ambientale degli ambiti interessati e restituire al territorio una struttura ecologica più stabile, diversificata e coerente con il contesto paesaggistico e ambientale del PASM.

5. BILANCIO DEI SERVIZI ECOSISTEMICI

La valutazione del bilancio dei servizi ecosistemici rappresenta un passaggio fondamentale per comprendere in modo approfondito gli effetti complessivi dell'intervento sul capitale naturale. A differenza delle analisi settoriali, che considerano singole componenti ambientali in maniera isolata, il bilancio ecosistemico permette di ricostruire una visione d'insieme integrata, nella quale il territorio è interpretato come un sistema complesso, caratterizzato da interazioni tra processi fisici, biologici e socio-economici.

In questa prospettiva, la presente sezione integra un insieme strutturato di tabelle quantitative che confrontano lo stato ante-operam e post-operam dei principali servizi ecosistemici, distinguendo chiaramente tra:

- condizioni pre-esistenti (ante-operam), riferite ai suoli agricoli dell'Unità Pedologica CIC1/ZIT1;
- condizioni post-intervento in situ, cioè relative alle superfici impermeabilizzate e alle aree di mitigazione verde;
- condizioni post-intervento fuori sito, che descrivono i benefici prodotti dall'intervento compensativo di 2,14 ettari.

L'obiettivo di questa analisi comparativa è quello di quantificare in modo oggettivo la perdita, la trasformazione e il recupero delle funzioni ecologiche associate al suolo e alla vegetazione, offrendo una base informativa solida per la valutazione finale degli impatti e per la verifica dell'adeguatezza delle misure compensative.

I valori riportati nelle tabelle derivano da coefficienti riconosciuti in letteratura scientifica e tecnica e fanno riferimento ai principali organismi nazionali e internazionali che si occupano di valutazione ecosistemica. Tra le fonti utilizzate figurano:

- ISPRA (Rapporti sul Consumo di Suolo, Servizi Ecosistemici 2018–2024),
- JRC – Joint Research Centre della Commissione Europea,
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (fattori di stoccaggio del carbonio nei suoli e nella biomassa),
- FAO (linee guida su pedologia, capacità d'uso del suolo e produttività),
- linee guida SNPA 28/2020 (metodologie per la valutazione quantitativa e qualitativa dei servizi ecosistemici).

Tutti i coefficienti sono stati calibrati sulle caratteristiche pedologiche specifiche dell'Unità CIC1/ZIT1, riconosciuta come suolo agricolo di elevata qualità, caratterizzato da una significativa dotazione di sostanza organica, buona profondità utile, elevata capacità di ritenzione idrica e dinamiche ecologiche attive. La scelta di adattare i parametri ai suoli locali permette di restituire una rappresentazione più realistica degli impatti e delle potenzialità di recupero.

Oltre agli aspetti strettamente quantitativi, il bilancio dei servizi ecosistemici assume un valore interpretativo più ampio perché consente di comprendere come il progetto modifichi il funzionamento del territorio nel suo complesso. La perdita di servizi ecosistemici nelle aree impermeabilizzate, infatti, non rappresenta soltanto una riduzione numerica di indicatori biofisici,

ma un cambiamento strutturale del sistema ambientale, che vede il passaggio da un suolo vivo e funzionale a una superficie sigillata priva di capacità ecologica.

Al contrario, il bosco compensativo introduce nuove funzioni ecosistemiche, che non solo compensano parte delle perdite, ma in alcuni casi generano benefici superiori allo stato ante-operam, soprattutto per quanto riguarda biodiversità, microclima, ritenzione idrica e sequestro del carbonio nel lungo periodo.

Il bilancio ecosistemico, quindi, non si limita a "contare" la perdita e il recupero dei servizi, ma permette di interpretare qualitativamente come il progetto modifichi la configurazione ecologica del territorio, passando da un sistema agricolo semplificato a un mosaico più articolato, nel quale convivono superfici impermeabilizzate, fasce di mitigazione e un ecosistema forestale compensativo ad elevata complessità.

La lettura combinata delle tabelle, dei grafici e delle analisi discorsive presentate nelle sezioni successive consente dunque di valutare l'efficacia delle misure messe in campo e di comprendere se, e in quale misura, il nuovo assetto territoriale sia in grado di sostenere nel tempo una dotazione adeguata di servizi ecosistemici, a beneficio sia dell'ambiente sia della collettività.

5.1 TABELLA ANALITICA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI – CONFRONTO ANTE/POST OPERAM

La tabella che segue sintetizza in forma analitica i risultati della valutazione quantitativa dei principali servizi ecosistemici, mettendo a confronto lo stato ante-operam, lo stato post-operam nelle aree direttamente interessate dall'intervento e il contributo fornito dalle misure compensative esterne (in particolare due aree a rimboschimento di 1,103 ettari).

Questa rappresentazione tabellare costituisce uno strumento fondamentale per comprendere in modo immediato e sistematico come la trasformazione del suolo e dell'assetto territoriale modifichi la capacità del sistema ambientale di erogare servizi essenziali quali la regolazione idrologica, la stabilità del suolo, il sequestro del carbonio, la biodiversità e la funzionalità paesaggistica.

La costruzione della tabella si basa su un approccio metodologico integrato che combina:

- dati pedologici locali, derivati dallo studio dell'Unità CIC1/ZIT1,
- coefficienze biofisici riconosciuti in letteratura (ISPRA, IPCC, JRC, FAO),
- indicazioni delle Linee Guida SNPA 28/2020 per la quantificazione dei servizi ecosistemici,
- differenziazione tra perdita permanente (suoli impermeabilizzati) e recupero progressivo (aree boscate).

Ogni valore tabellare riflette quindi una stima calibrata sulle caratteristiche del territorio, espressa in termini di flussi e stock ove previsto, e rappresenta la traduzione numerica della dinamica ecologica analizzata nei capitoli precedenti.

La tabella non deve essere interpretata come il semplice "saldo" aritmetico tra perdite e guadagni, ma come la rappresentazione sintetica di un processo evolutivo: le superfici impermeabilizzate subiscono una perdita immediata e irreversibile delle funzioni ecosistemiche,

mentre le aree di compensazione forestale ne ricostruiscono progressivamente una parte significativa, con benefici che aumentano in modo sensibile nel medio-lungo periodo.

Questa lettura integrata costituisce la base per il bilancio ecosistemico finale e per la valutazione dell'efficacia complessiva delle misure di mitigazione e compensazione previste dal progetto.

Servizio ecosistemico	**Indicatore analitico**	**Ante operam**	**Post operam (in sito)**	**Post operam (compensazione)**	**Bilancio complessivo**
Regolazione idrologica	Capacità infiltrazione (mm/h)	80-120	40 - 60	120-160	Bilancio positivo
	Capacità ritenzione idrica (mm)	180–220	40-80	60-100	Parzialmente compensato
Stoccaggio del carbonio	Stock C suolo (kg C/m²)	8,5	0	12–14 (a maturità)	Positivo a lungo termine
	Stock C vegetazione (kg C/pianta)	1–3	0	10–18	Fortemente positivo
Biodiversità	Indice Shannon H'	1,2	0,3	1,5–2,0	Miglioramento nel medio periodo
	Copertura vegetale (%)	70–80%	10–15%	80–90%	Bilancio positivo
Protezione dall'erosione	Fattore K (erodibilità)	Basso	Alto	Alto	Miglioramento fuori sito
	Stabilità strutturale (%)	60–70%	0–10%	70–80%	Parzialmente recuperato
Capacità produttiva agricola	Potenziale produttivo (q/ha)	0	0	0	Impatto non quantificabile

Servizio ecosistemico	Indicatore analitico	Ante operam	Post operam (in sito)	Post operam (compensazione fuori sito)	Bilancio complessivo
Regolazione idrologica	Capacità di infiltrazione / permeabilità funzionale	Prato permeabile su 33.318 m²: capacità di infiltrazione presente, indicativamente medio-buona se il suolo non è compattato.	Fortemente ridotta: 30.604 m² impermeabili e 7.111 m² permeabili con mitigazioni a verde, rain garden e aree drenanti.	Recupero fuori sito su 21.391 m² di rimboschimento: incremento della permeabilità, dell'intercettazione meteorica e della rugosità superficiale.	Parzialmente compensato: permane la perdita in sito, mitigata dalle superfici permeabili residue e dalla compensazione forestale fuori sito.
	Capacità di ritenzione idrica	Presente in misura ordinaria per prato stabile /permeabile, con funzione di trattenuta superficiale e infiltrazione diffusa.	Ridotta rispetto all'ante operam per effetto dell'impermeabilizzazione; parziale recupero tramite aree permeabili, rain garden e impianti vegetali.	Miglioramento progressivo su 21.391 m² grazie a rimboschimento, lettiera, apparati radicali e aumento della sostanza organica.	Parzialmente compensato, con recupero funzionale prevalente fuori sito.
Stoccaggio del carbonio	Stock C suolo (kg C/m²)	Prato: stock organico del suolo presente; valore parametrico cautelativo 6–8 kg C/m², da verificare con dati pedologici CIC1/ZIT1.	Azzerato nelle superfici impermeabilizzate; conservato o parzialmente incrementabile nei 7.111 m² permeabili mediante mitigazioni a verde.	Su 21.391 m² di rimboschimento: mantenimento/incremento progressivo dello stock del suolo, indicativamente 8–10 kg C/m² a maturità, salvo verifica analitica.	Parzialmente compensato: la perdita di suolo in sito non è integralmente reversibile, ma parzialmente compensata nel medio-lungo periodo fuori sito.
	Stock C vegetazione (kg C/m²)	Prato ordinario: contributo limitato della biomassa erbacea, indicativamente 0,3–0,8 kg C/m².	Mitigazioni in sito: erbacee/rain garden circa 0,5–1,0 kg C/m²; fasce arbustive mature circa 1,5–3,0 kg C/m²; eventuale componente arborea 4–6 kg C/m².	Rimboschimento su 21.391 m²: 4–6 kg C/m² a maturità, pari a circa 44,1–66,2 t C complessive nella biomassa vegetale.	Fortemente positivo a lungo termine per la componente vegetazionale fuori sito.
Biodiversità	Indice di diversità potenziale / complessità habitat	Prato ordinario: biodiversità medio-bassa, legata prevalentemente alla componente erbacea e alla gestione manutentiva.	Miglioramento locale nelle aree permeabili grazie a siepi, fasce arbustive, erbacee perenni, rain garden e dispositivi faunistici.	Incremento significativo su 21.391 m² per formazione di habitat arboreo-arbustivi, margini ecotonali, risorse trofiche e rifugi.	Miglioramento complessivo nel medio-lungo periodo.
	Copertura vegetale (%)	Prato ante operam su 33.318 m²: copertura erbacea prevalente, prossima al 100% della superficie a prato.	Copertura vegetale ridotta alla componente permeabile: 7.111 m², pari a circa il 18,85% del lotto post operam complessivo.	Copertura forestale/arboreo-arbustiva effettiva pari a 21.391 m², con sviluppo progressivo fino a copertura elevata a maturità.	Bilancio positivo fuori sito; in sito permane riduzione della superficie vegetata.
Protezione dall'erosione	Fattore di protezione del suolo / erodibilità	Prato ordinario: buona protezione superficiale del suolo grazie alla copertura erbacea continua.	Perdita della funzione sulle superfici impermeabilizzate; mantenimento localizzato nelle aree a verde e nei rain garden.	Miglioramento su 21.391 m² e grazie ad apparati radicali arboreo-arbustivi, copertura permanente e lettiera.	Miglioramento fuori sito; funzione pedologica in sito solo parzialmente recuperata.
	Stabilità strutturale del suolo	Stabilità ordinaria del prato permeabile, dipendente da tessitura, sostanza organica e compattazione.	Compromessa nelle aree impermeabilizzate; migliorata solo nelle porzioni permeabili oggetto di sistemazioni a verde.	Incremento progressivo della stabilità su 21.391 m² per effetto di radicazione, sostanza organica e copertura vegetale permanente.	Parzialmente recuperata, con prevalenza del beneficio fuori sito.
Valori culturali/ paesaggistici	Qualità paesaggistica e integrazione nel contesto	Prato ordinario: valore paesaggistico semplice e coerente con il contesto aperto, ma con limitata complessità ecologica.	Mitigazione paesaggistica affidata a siepi, fasce arbustive, erbacee perenni, rain garden e dispositivi faunistici; riduzione dell'impatto visivo dei volumi tecnologici.	Rafforzamento paesaggistico dei fontanili e del sistema verde del PASM mediante 21.391 m² effettivi di rimboschimento.	Positiva compensazione paesaggistica ed ecologica.
Capacità produttiva agricola	Potenziale produttivo agricolo	Prato ordinario non specializzato: potenziale produttivo agricolo basso o marginale, salvo uso foraggero.	Azzerato sulle aree impermeabilizzate; non rilevante nelle mitigazioni ornamentali/ecologiche in sito.	Non finalizzato alla produzione agricola: conversione a funzione ecologica/forestale su 21.391 m².	Impatto produttivo agricolo non compensato in termini colturali; compensazione orientata ai servizi ecosistemici.

5.2 APPROFONDIMENTO QUANTITATIVO

Gli approfondimenti che seguono rappresentano un passaggio centrale dell'intera valutazione ambientale, poiché consentono di tradurre in valori misurabili e confrontabili le funzioni ecosistemiche che caratterizzano il territorio nelle condizioni ante-operam e le loro trasformazioni a seguito dell'intervento.

Questa sezione nasce dall'esigenza, evidenziata dagli enti competenti, di integrare lo Studio di Impatto Ambientale con una quantificazione chiara, strutturata e metodologicamente fondata dei principali servizi ecosistemici erogati dal suolo e dalla vegetazione locale. Le tabelle non costituiscono quindi un mero esercizio numerico, ma rappresentano l'esito di un processo analitico rigoroso che combina:

- i dati pedologici e agronomici specifici dell'Unità CIC1/ZIT1, ricavati dagli studi di campo e dalla cartografia pedologica di dettaglio;
- i coefficienti biofisici riconosciuti dalla letteratura internazionale (ISPRA, JRC, FAO, IPCC), calibrati sulle caratteristiche locali del sito;
- le indicazioni metodologiche delle Linee Guida SNPA 28/2020, che forniscono criteri e indicatori per la valutazione dei servizi ecosistemici in relazione al consumo di suolo;
- la distinzione netta tra perdita permanente (superfici impermeabilizzate), perdita temporanea (aree di cantiere) e recupero funzionale attribuibile al bosco compensativo.

5.2.1 STIMA DELLO STOCK DI CARBONIO

La stima dello stock di carbonio organico associato ai suoli e alla vegetazione è stata condotta seguendo un approccio combinato che integra fonti internazionali, nazionali e locali, in coerenza con le linee guida adottate in ambito VIA e con le più recenti prescrizioni ISPRA.

L'obiettivo è determinare, in modo scientificamente robusto, la quantità di carbonio immobilizzata negli ecosistemi prima dell'intervento (ante operam) e quella recuperabile attraverso le misure di mitigazione e compensazione previste (post operam).

La procedura si basa su tre gruppi principali di fonti:

<u>Fonti scientifiche internazionali</u>

IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Vol.4 Agriculture, Forestry and Other Land Use, che fornisce i fattori di conversione carbonio/CO_2 e gli intervalli tipici di stock di carbonio per diverse tipologie di uso del suolo e condizioni pedoclimatiche.

FAO, Global Soil Organic Carbon Map (GSOC) e documentazione FAO-UNFCCC per la stima dello stock di carbonio organico nei suoli mineral i a differenti profondità.

JRC – Joint Research Centre (De Vos et al., 2015): valori di benchmark per lo stock di carbonio nei suoli europei, differenziati per tipologia pedologica, uso del suolo e profondità.

<u>Fonti nazionali</u>

ISPRA – Consumo di Suolo e Servizi Ecosistemici (Rapporti 2018–2023), utilizzati per i coefficienti di conversione, per i valori medi di stock in sistemi agricoli e forestali e per la definizione metodologica dei servizi ecosistemici.

Linee Guida SNPA 28/2020, che definiscono il quadro metodologico per la valutazione dei servizi ecosistemici in VIA/VAS.

Fonti locali

La descrizione pedologica dell'unità CIC1/ZIT1, desunta dalla Banca Dati Suoli LOSAN di ERSAF Lombardia, evidenzia condizioni complessivamente favorevoli alla funzionalità agronomica ed ecologica del suolo, in relazione alla profondità utile, alla tessitura franco-limosa, all'elevata capacità di ritenzione idrica disponibile per le piante, al contenuto di sostanza organica e alle condizioni idrologiche naturali, con particolare riferimento a infiltrazione e drenaggio. Tali caratteristiche indicano una buona attitudine del suolo alla conservazione della sostanza organica e al potenziale accumulo di carbonio nel profilo, che viene approfondito e quantificato nel paragrafo successivo attraverso il calcolo dello stock di carbonio organico.

Procedura di calcolo adottata

Stima dello stock di carbonio ANTE OPERAM

Per l'area soggetta a trasformazione permanente (26.207 m² = 2,6207 ha) è stato adottato un valore di 85 t C/ha, coerente con:

- benchmark europei per suoli profondi a tessitura fine (JRC – De Vos et al.);
- valori ISPRA per suoli agricoli evoluti;
- caratteristiche pedologiche locali (CIC1/ZIT1).

Questo valore rappresenta lo stock medio di carbonio organico nel profilo 0–30/0–40 cm, secondo gli standard FAO-IPCC.

Stock C = Area (ha) × Stock medio (tC/ha)
→ 2,6207 ha × 85 tC/ha = **222,759 tC**
(= **222,759 kg × 10^3** di carbonio)

Stima dello stock di carbonio POST OPERAM – Aree impermeabilizzate

Nelle superfici impermeabilizzate lo stock di carbonio è assunto pari a zero, in quanto:

- la copertura artificiale interrompe completamente i cicli biogeochimici;
- la sostanza organica presente negli orizzonti superficiali viene rimossa o isolata;
- la ricostituzione del carbonio organico diviene impossibile.

  La variazione di stock nelle aree trasformate risulta quindi:

  ΔC = 0 – 222,759 tC = −222,759 tC

Stima dello stock recuperabile tramite COMPENSAZIONE e MITIGAZIONE

Le superfici oggetto di rimboschimento sono così articolate: 3.788 m² interessati da rimboschimento pari al 100% della superficie, 3.102 m² interessati da rimboschimento pari all'80% della superficie e ulteriori 14.502 m² complessivi, interessati da rimboschimento pari al 30% della superficie.

La superficie reale di rimboschimento, calcolata in funzione delle percentuali effettive di rimboschimento, risulta quindi pari a:

3.788 m² + 2.481,6 m² + 4.350,6 m² = 10.620,2 m²

Pertanto, la superficie effettiva di rimboschimento forestale è pari a circa 10.620,2 m².

Per i boschi compensativi (1,0620 ha) è stato adottato uno stock potenziale di:

120 t C/ha (valore conservativo ma coerente con gli inventari forestali europei (JRC – Forest Carbon, FAO Global Forest Resources, ISPRA - stima media per boschi maturi di pianura).

Per le fasce di mitigazione (0,711 ha) lo stock stimato è:

40 t C/ha, valore tipico per filari, siepi e vegetazione lineare matura.

Il valore di recupero è stato calcolato come:

Stock recuperato = (1,0620 ha×120 t C/ha) + (0,7111 ha×40 t C/ha) = 155,886 t C

Conversione Carbonio → CO_2 equivalente

La conversione segue il fattore IPCC:

1 tC=3,667 tCO_2eq

che rappresenta il rapporto tra il peso molecolare della CO_2 (44) e quello del carbonio (12).

Superficie	**Estensione (m²)**	**Stock C (kg/m²)**	**Stock totale (kg C)**	**Variazione**
Suolo ante operam	26.207	8,5	222.759	—
Suolo post operam	26.207	0	0	- 222.759
Bosco compensativo (a maturità)	10.620	12–14	127.440–148.680	+127.440–148.680
Mitigazione arborea	7.111	4–6	26.620–39.930	+26.620–39.930

5.2.2 VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLA CAPACITÀ IDROLOGICA

La valutazione quantitativa della capacità idrologica del suolo ante e post operam rappresenta un passaggio fondamentale dell'intero quadro valutativo, poiché consente di comprendere come la trasformazione del suolo influisca sui processi naturali di infiltrazione, ritenzione idrica e regolazione dei deflussi superficiali. Per affrontare questa analisi in modo coerente con le migliori pratiche scientifiche e con quanto richiesto dalla normativa vigente, è stato adottato un approccio integrato che combina dati pedologici locali, metodi idrologici riconosciuti a livello internazionale e criteri di analisi dei servizi ecosistemici definiti da ISPRA e SNPA.

In particolare, la valutazione si fonda su tre pilastri metodologici:

- la conoscenza dettagliata delle caratteristiche fisiche dei suoli locali, ricavate dallo studio pedologico dell'unità CIC1/ZIT1;
- l'applicazione di modelli idrologici semplificati ma robusti, in grado di stimare gli effetti dei cambiamenti di uso del suolo sulla capacità di infiltrazione e sul runoff;

- l'inquadramento del fenomeno all'interno del servizio ecosistemico "regolazione idrologica", così come definito nelle Linee Guida SNPA 28/2020 e nei Rapporti ISPRA sul consumo di suolo.

I suoli appartenenti all'unità pedologica CIC1/ZIT1 rappresentano un elemento significativo per l'interpretazione del comportamento idrologico dell'area, in relazione alle caratteristiche deposizionali e tessiturali dei materiali alluvionali di origine. Si tratta di suoli generalmente molto profondi, a tessitura da franco-limosa a limoso-sabbiosa, con buona dotazione di porosità e contenuto variabile di sostanza organica. Tali caratteristiche, associate all'assenza di scheletro e a una struttura generalmente ben sviluppata, determinano una discreta capacità di infiltrazione e una buona capacità di ritenzione idrica all'interno del profilo pedologico. Tuttavia, la permeabilità moderata e la possibile presenza di orizzonti a maggiore densità comportano una dinamica idrica meno rapida rispetto a suoli più grossolani. Nel complesso, questi suoli contribuiscono in modo efficace alla regolazione idrologica locale, favorendo l'infiltrazione e la distribuzione dell'acqua nel profilo, limitando i deflussi superficiali e concorrendo, seppur in misura moderata, alla ricarica delle falde e alla mitigazione dei picchi di piena in occasione di eventi meteorici intensi.

Per tradurre le caratteristiche del suolo in valori quantitativi, sono stati utilizzati metodi ampiamente riconosciuti nella letteratura scientifica e in ambito progettuale. Un riferimento importante è rappresentato dal metodo Curve Number (CN) sviluppato dallo USDA Soil Conservation Service, un modello empirico che permette di stimare la propensione di un suolo a generare deflusso superficiale in funzione delle sue proprietà fisiche e dell'uso del suolo. Questo metodo è stato integrato con parametri derivati dai manuali FAO e USDA relativi alla permeabilità dei suoli (Ksat) e alla capacità di ritenzione idrica (AWC – Available Water Capacity).

Per le condizioni ante operam, i valori di infiltrazione naturale nel sito — compresi tra 120 e 160 mm/h — riflettono pienamente la qualità dei suoli CIC1/ZIT1. Tali valori non sono solo coerenti con la letteratura tecnica, ma anche con l'esperienza empirica dei suoli limosi profondi della Pianura Padana.

La trasformazione permanente di 26.207 m² in superfici impermeabili determina un cambiamento radicale della capacità idrologica del sistema. Mentre il suolo naturale era in grado di assorbire rapidamente anche precipitazioni intense, il suolo impermeabilizzato perde completamente questa funzione: la capacità di infiltrazione diventa pari a zero, e la quasi totalità delle precipitazioni si trasforma in deflusso superficiale, con percentuali che possono raggiungere l'85–95%. Questo risultato, in linea con i parametri CN pari a 98–100 per le superfici completamente artificializzate, implica effetti diretti sulla gestione delle acque meteoriche, sulla frequenza dei picchi di piena e sulla qualità dell'acqua che scorre verso valle.

L'integrazione dei valori ante operam, post operam e post-compensazione consente di rappresentare un quadro completo dell'evoluzione del servizio ecosistemico "regolazione idrologica":

- la perdita nelle aree impermeabilizzate è permanente e non reversibile;
- il recupero garantito dalle aree boscate è parziale nel breve periodo, ma significativo nel medio-lungo periodo;

- il bilancio finale mostra una riorganizzazione delle funzioni idrologiche anziché una semplice perdita lineare: la compensazione crea un nuovo assetto ecologico che, pur non riproducendo perfettamente lo stato originario, restituisce una buona parte delle funzioni di infiltrazione, ritenzione e laminazione.

Parametro	Ante operam	Post in sito	Compensazione	Bilancio
Capacità di infiltrazione (mm/h)	90-120	20-40	120–160	Miglioramento fuori sito
Ritenzione idrica (mm)	150-180	40-80	180–220	Parziale recupero
Runoff (%)	10–15	85–95	20–30	Miglioramento fuori sito

5.2.3 BIODIVERSITÀ - INDICI ECOLOGICI

La valutazione della biodiversità e degli indici ecologici rappresenta un passaggio cruciale nell'analisi degli impatti ambientali connessi alla trasformazione del suolo. In un contesto come quello esaminato, caratterizzato da suoli agricoli intensamente coltivati ma dotati di una struttura pedologica matura e potenzialmente favorevole allo sviluppo di microhabitat edafici, la trasformazione permanente di una parte significativa di superficie determina effetti non solo sulla componente biotica presente, ma anche sui processi ecologici che sostengono la funzionalità complessiva dell'ecosistema.

Per affrontare tale analisi in modo rigoroso e conforme agli standard VIA, è stata adottata una metodologia che integra indicatori quantitativi, parametri derivati dalla letteratura scientifica e criteri di valutazione stabiliti dalle Linee Guida SNPA 28/2020 e dai Rapporti ISPRA sui Servizi Ecosistemici. L'obiettivo non è semplicemente rilevare la presenza o assenza di specie, ma descrivere come il sistema ecologico risponde alla variazione d'uso del suolo, valutando la struttura, la complessità, la funzionalità e la resilienza degli habitat.

La metodologia utilizzata considera la biodiversità come l'esito integrato di processi fisici, biologici e funzionali. Per questo motivo, l'analisi non si limita alla componente floristica o faunistica superficiale, ma prende in considerazione anche:

- la biodiversità edafica (microfauna, comunità microbiche, rete trofica del suolo),
- la complessità strutturale degli habitat,
- la capacità del suolo di sostenere cicli biogeochimici,
- la connettività ecologica e la frammentazione,
- la potenzialità evolutiva degli ecosistemi compensativi.

La trasformazione del suolo comporta una riduzione drastica della biodiversità nelle superfici impermeabilizzate; tuttavia, la presenza di interventi di compensazione vegetazionale, come l'imboschimento previsto, genera nuove opportunità ecologiche che, nel medio-lungo periodo, possono incrementare la qualità ecologica complessiva dell'area rispetto alle condizioni ante operam.

Per analizzare quantitativamente tali dinamiche, sono stati utilizzati indici riconosciuti a livello internazionale, in grado di sintetizzare la complessità delle comunità biologiche e di fornire una misura comparabile nel tempo e nello spazio. Tra questi:

1. L'indice di Shannon (H') - Misura la complessità della comunità biologica considerando contemporaneamente:

- ricchezza di specie (numero di specie presenti);
- uniformità (modalità con cui gli individui si distribuiscono tra le specie).

Per i contesti agricoli intensivi, valori di H' intorno a 1,0–1,3 rappresentano comunità povere e semplificate, dominate da poche specie opportuniste. Le aree boschive mature, invece, possono raggiungere valori pari a 1,8–2,0, riflettendo una maggiore diversità di nicchie ecologiche e una connettività trofica più complessa.

2. Indici di qualità ecologica del suolo -Supportati dai dati pedologici dell'unità CIC1/ZIT1, permettono di valutare:

- abbondanza e diversità della macrofauna del suolo (lombrichi, artropodi, coleotteri);
- attività microbica e presenza di micorrize;
- stabilità strutturale dell'aggregato (soil stability index).

Questi indicatori sono strettamente legati alla presenza di sostanza organica e alla qualità della struttura del suolo.

3. Indicatori di funzionalità ecosistemica -Utilizzati per raccordare la biodiversità ai servizi ecosistemici:

- capacità di rigenerazione spontanea;
- resilienza agli stress idrici;
- produzione primaria netta;
- complessità verticale della vegetazione.

La valutazione ante/post operam – logica e criteri

Per garantire verificabilità, la valutazione è stata condotta seguendo tre fasi:

<u>Fase 1 – Analisi ante operam</u>

Sono stati stimati gli indici di biodiversità tipici dei contesti agricoli della Pianura Padana, utilizzando:

- letteratura scientifica nazionale ed europea,
- dati ISPRA e SNPA,
- parametri pedologici specifici dell'unità CIC1/ZIT1, che influenzano la biodiversità edafica.

Il valore di riferimento adottato per H' ante operam è stato pari a 1,2.

<u>Fase 2 – Analisi post operam nelle superfici impermeabilizzate</u>

Nelle aree impermeabilizzate si verifica la scomparsa quasi totale della funzionalità ecologica, con H' ridotto a valori prossimi a 0,3, soglia tipica degli ambienti artificiali con scarsissima eterogeneità ecologica.

Fase 3 – Valutazione compensativa

Il bosco di compensazione, progettato con specie autoctone e struttura multilivello, permette nel medio-lungo termine (10–20 anni) di raggiungere valori di H' compresi tra 1,5 e 2,0, associati a habitat stabili e ricchi di interazioni ecologiche.

Indicatore	Ante operam	Post operam in sito	Compensazione	Valutazione
Shannon H'	1,2	0,3	1,5–2,0	Fortemente positivo
Ricchezza specie arboree (n)	4–6	0–1	12–14	Aumento significativo
Ricchezza arbustiva	3–4	0	5–6	Aumento

5.2.4 PROTEZIONE DALL'EROSIONE

La protezione dall'erosione rappresenta uno dei servizi ecosistemici fondamentali forniti dal suolo, in quanto direttamente collegata alla sua capacità di mantenere stabilità fisica, trattenere particelle minerali e organiche e impedire fenomeni di dilavamento superficiale. Nella presente analisi, la valutazione quantitativa è stata sviluppata sulla base dei parametri pedologici dell'Unità CIC1/ZIT1 e dei coefficienti di erosività e erodibilità riconosciuti in letteratura (FAO, JRC – European Soil Data Centre, ISPRA), con particolare riferimento alle metodologie integrate nelle Linee Guida SNPA 28/2020.

I suoli CIC1/ZIT1, caratterizzati da un'elevata dotazione di sostanza organica, una buona struttura aggregata e una tessitura franco-limosa profonda, svolgono naturalmente un ruolo molto efficace nella prevenzione dell'erosione. La buona coesione delle particelle e la presenza di una rete radicale attiva permettono al suolo di resistere all'azione battente della pioggia e dei ruscellamenti superficiali, garantendo valori di perdita potenziale estremamente contenuti. Nello stato ante-operam, la capacità protettiva del suolo può essere espressa tramite un coefficiente di erodibilità "K" molto basso e un tasso di perdita tra 0,3 e 1,0 t/ha/anno, in linea con i valori tipici dei suoli stabili della Pianura Padana.

La trasformazione del suolo in superficie impermeabilizzata determina una perdita totale del servizio ecosistemico di protezione dall'erosione. L'asfalto o il calcestruzzo non svolgono alcuna funzione di trattenimento: non esiste più interazione tra acqua e matrice pedologica e il suolo sottostante, isolato e compresso, perde definitivamente la possibilità di svolgere processi di resistenza all'erosione. In termini quantitativi, l'impatto corrisponde alla completa cessazione della funzione su 26.207 m ², con una riduzione pari al 100% dell'efficienza originaria.

L'intervento compensativo, attraverso la realizzazione del bosco di 2 ettari, introduce un nuovo sistema vegetale in grado di sviluppare nel tempo una capacità protettiva superiore persino allo stato originario agricolo. Il bosco maturo, infatti, grazie alla chioma continua, alla lettiera permanente e all'apparato radicale profondo, riduce drasticamente l'energia cinetica delle piogge e stabilizza i primi strati del suolo, portando i tassi di erosione potenziale a valori prossimi a zero.

Tale servizio diviene pienamente operativo dopo i primi 5–7 anni dall'impianto e si stabilizza nel lungo periodo.

Il bilancio finale evidenzia dunque una perdita localizzata e irreversibile nelle aree impermeabilizzate, compensata però da un recupero significativo nelle superfici boscate, dove la funzione di protezione dall'erosione risulta addirittura migliore rispetto allo scenario agricolo iniziale.

Indicatore	**Ante operam**	**Post operam in sito**	**Compensazione**	**Valutazione complessiva**
Stabilità degli aggregati del suolo	Alta	Bassa	Media–alta	Recupero parziale ma significativo
Copertura vegetale protettiva	Presente e continua	Limitata	Elevata	Miglioramento nel medio-lungo periodo
Vulnerabilità all'erosione superficiale	Bassa	Media	Molto bassa	Recupero funzionale elevato
Funzione di trattenimento particellare	Attiva e stabile	Non attiva	Ricostruita	Positiva dopo maturazione
Capacità dissipazione energia pioggia	Buona	Bassa	Buona–ottima	Forte miglioramento
Contributo ecologico complessivo	Adeguato	Basso	Ripristinato e potenziato	Fortemente positivo

5.2.5 VALORI CULTURALI E PAESAGGISTICI

La valutazione quantitativa dei valori culturali e paesaggistici, pur riferendosi ad aspetti che presentano una forte componente percettiva, può essere affrontata attraverso indicatori oggettivi e parametri riconosciuti nella letteratura tecnico-scientifica. Le Linee Guida SNPA 28/2020 e i Rapporti ISPRA sui servizi ecosistemici forniscono infatti criteri utili per tradurre elementi di qualità paesaggistica in indici valutabili, quali: diversità delle forme visive, articolazione del mosaico territoriale, presenza di elementi naturali, complessità vegetazionale e grado di continuità ecologica.

Nello stato ante-operam, il paesaggio agricolo corrisponde a un ambiente caratterizzato da omogeneità percettiva e da scarsa articolazione morfologica: grandi superfici coltivate, limitati elementi di margine e bassa complessità visiva. Pur essendo parte del patrimonio rurale locale, la sua qualità ecosistemica e paesaggistica è considerata moderata, con valori compresi nella fascia intermedia dei modelli ISPRA, in quanto mancante di un livello significativo di naturalità.

L'intervento in progetto introduce inevitabilmente una discontinuità paesaggistica, legata alla presenza delle nuove superfici impermeabilizzate e degli elementi edilizi. Nella fase immediata post-operam si registra quindi un abbassamento del valore paesaggistico nell'area direttamente interessata, dovuto alla riduzione della naturalità e all'aumento della componente artificiale.

La strategia di mitigazione progettata, basata sulla realizzazione di fasce arboree sinusoidali, contribuisce però a ridurre in modo sensibile l'impatto visivo. L'adozione di specie autoctone, la modulazione delle quinte vegetali e l'andamento irregolare degli impianti permettono di ricreare una morfologia verde coerente con il paesaggio agrario e di migliorare la qualità percettiva della scena.

Il contributo più significativo, tuttavia, deriva dal bosco compensativo. Nella scala territoriale, esso introduce un nuovo elemento di naturalità e complessità paesaggistica, capace di generare un incremento del valore culturale e ambientale superiore allo stato preesistente. Nel medio periodo, la presenza del bosco consente una ricomposizione del quadro visivo, arricchendolo di colori stagionali, profondità prospettica e continuità ecologica. Gli indici ISPRA che misurano la qualità paesaggistica (habitat quality, landscape diversity) mostrano tipicamente un aumento significativo nelle aree forestali rispetto ai seminativi.

Il bilancio finale mostra dunque un valore paesaggistico complessivo in miglioramento rispetto alla condizione iniziale, grazie alla presenza del nuovo ecosistema forestale, che rappresenta un elemento di elevato pregio ecologico e culturale.

Indicatore	**Ante operam**	**Post operam in sito**	**Compensazione**	**Valutazione complessiva**
Qualità percettiva	Media	Bassa	Media–alta con elementi arborei	Recupero parziale
Coerenza paesaggistica	Buona	Parzialmente compromessa	Ricostruita	Positiva nel medio periodo
Naturalità	Moderata	Bassa	Media–alta con elementi arborei	Miglioramento significativo
Integrazione visiva	Adeguata	Bassa	Buona con fasce verdi	Effetto migliorativo

5.2.6 VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLA CAPACITÀ PRODUTTIVA AGRICOLA

La capacità produttiva agricola rappresenta uno dei servizi ecosistemici più intuitivi e immediatamente collegati al suolo, poiché riflette la sua idoneità a sostenere colture, produrre biomassa e garantire rese agricole stabili. Per la valutazione quantitativa di questa funzione, sono stati adottati i coefficienti di produttività definiti da FAO, ISPRA e JRC, adattati alle caratteristiche pedologiche specifiche dell'Unità CIC1/ZIT1, nota per la sua elevata fertilità naturale e per la buona risposta produttiva nelle principali colture della Pianura Padana.

Nello stato ante-operam, i suoli CIC1/ZIT1 presentano un elevato potenziale agricolo dovuto alla profondità utile, alla buona dotazione di nutrienti, alla permeabilità favorevole e alla capacità di ritenzione idrica distribuita in modo omogeneo lungo il profilo. Queste caratteristiche consentono rese agrarie superiori alla media regionale, con valori annui in linea con i benchmark FAO per i suoli limosi profondi.

La trasformazione in superficie impermeabilizzata comporta una perdita totale e definitiva della capacità produttiva agricola sull'area direttamente occupata dal progetto (26.207 m²). L'intervento determina quindi una riduzione del servizio pari al 100% nelle aree sigillate, senza possibilità di recupero in situ.

È importante osservare che le fasce verdi di mitigazione non contribuiscono alla ricostituzione della produttività agricola, trattandosi di elementi vegetazionali non destinati alla produzione. Tuttavia, l'intervento di compensazione forestale introduce una forma alternativa di produzione biologica, sebbene non assimilabile alla produzione agricola tradizionale. Il bosco, infatti, genera biomassa legnosa, incrementa la sostanza organica e produce un servizio ecosistemico diverso ma di valore crescente nel tempo, contribuendo al recupero della qualità del suolo e alla stabilità ecosistemica complessiva.

Nel bilancio generale, la perdita agricola risulta concentrata nelle superfici impermeabilizzate e non compensabile con funzioni equivalenti. Tuttavia, la realizzazione del bosco genera un aumento significativo dei servizi ecologici, che non riproducono la produttività colturale, ma introducono nuovi benefici ecologici strutturali (carbonio, biodiversità, stabilità del suolo), contribuendo alla sostenibilità territoriale nel lungo periodo.

Indicatore	**Ante operam**	**Post operam in sito**	**Compensazione**	**Valutazione complessiva**
Vocazione produttiva del suolo	Media	Assente	Non applicabile	Perdita permanente
Fertilità naturale	Media	Non significativa	Non applicabile	Impatto irreversibile
Continuità col paesaggio agrario	Presente	Assente	Parziale nelle fasce verdi	Riduzione consistente
Funzioni ecosistemiche agricole	Attive	Non attive	Ricostruite solo in parte	Perdita non compensabile in sito

5.3 SINTESI: BILANCIO ECOSISTEMICO COMPLESSIVO

Il bilancio ecosistemico complessivo dell'intervento evidenzia un quadro articolato, nel quale la perdita di funzionalità nelle superfici impermeabilizzate si confronta con la capacità delle misure di mitigazione e, soprattutto, di compensazione, di ristabilire nel tempo una parte significativa dei servizi ecosistemici compromessi. L'analisi condotta non si limita alla mera quantificazione dei parametri biofisici, ma approfondisce le dinamiche evolutive dei diversi componenti ambientali e il modo in cui essi interagiscono, offrendo una visione integrata dei processi ecologici coinvolti.

La trasformazione del suolo agricolo in superficie impermeabilizzata rappresenta, senza dubbio, l'impatto più critico. La perdita del suolo non è solo fisica, ma riguarda l'insieme delle funzioni che esso svolgeva: supporto alla biodiversità, regolazione idrologica, capacità di stoccaggio del carbonio, produttività agricola, stabilità strutturale e ruolo nei cicli biogeochimici. L'impatto è immediato e permanente, e segna una cesura netta rispetto all'assetto preesistente. Tuttavia, la presenza di suoli di alta qualità pedologica nelle aree agricole residuanti e le strategie compensative permettono di rileggere questa perdita non come un punto di arrivo statico, ma come l'avvio di un processo di riequilibrio ecosistemico distribuito nello spazio.

La componente idrologica mostra la stessa dualità. L'impermeabilizzazione comporta la scomparsa della capacità di infiltrazione nel suolo, con un inevitabile aumento del runoff e una

riduzione drastica della ricarica della falda. Allo stesso tempo, le aree forestali di compensazione avviano un percorso opposto, che nel medio-lungo termine favorisce un'ampia ritenzione idrica, la riduzione dei deflussi e la stabilizzazione dei terreni. Il sistema paesaggistico, dunque, non recupera la funzionalità idrologica originaria nelle aree di perdita, ma la riorganizza in nuove zone, generando un equilibrio diverso, più frammentato ma ecologicamente efficace.

Particolarmente significativa è la dinamica della biodiversità. Se le superfici impermeabilizzate comportano una perdita irreversibile delle comunità biologiche originarie, le misure compensative, fondate sulla creazione di un bosco con specie autoctone, determinano un incremento potenziale della diversità molto superiore a quella dei seminativi di partenza. Si assiste a una transizione da un sistema agricolo a bassa complessità a un habitat forestale capace di ospitare comunità floristiche e faunistiche più ricche, articolate e resilienti. Il bosco rappresenta non solo un intervento compensativo, ma una vera e propria occasione di rigenerazione ecologica, poiché introduce funzioni ecosistemiche che prima non erano presenti o erano profondamente ridotte.

Il ciclo del carbonio segue una traiettoria analoga: l'impatto iniziale è negativo e immediato, poiché lo stock organico contenuto nel suolo agricolo viene rimosso o alterato. Tuttavia, la crescita della biomassa legnosa nelle aree compensate permette, nel tempo, di reintrodurre un circuito attivo di sequestro del carbonio atmosferico e di ricostituire un nuovo stock stabile nel suolo forestale. Questo processo non neutralizza completamente la perdita iniziale, ma la riduce in maniera significativa, con tempi coerenti con la maturazione di un ecosistema forestale.

Il paesaggio riflette e sintetizza tutte queste dinamiche. L'intervento produce una modifica evidente delle forme e delle percezioni visive, inizialmente semplificando il mosaico territoriale con l'introduzione di superfici artificiali. Tuttavia, il bosco compensativo introduce elementi vegetazionali complessi che, crescendo, tendono a rafforzare la naturalità percepita, a migliorare la diversità cromatica e la profondità visiva, e a restituire al territorio un'identità paesaggistica più ricca di quella originaria.

Nel complesso, il bilancio ecosistemico non restituisce un semplice confronto tra condizioni ante e post operam, ma delinea un percorso evolutivo. L'intervento determina una perdita concentrata e irreversibile in alcune aree, ma un recupero crescente e significativo in altre. La trasformazione netta del suolo – indubbiamente il punto più delicato – è affiancata da una serie di misure capaci di generare, nel tempo, un nuovo equilibrio ecologico, con una qualità complessiva che, per diversi aspetti, risulta superiore allo stato agricolo di partenza.

La compensazione forestale, in particolare, si configura come il motore principale di questa evoluzione, poiché introduce un ecosistema in grado di generare benefici crescenti, sia in termini di biodiversità sia di servizi ecosistemici complessivi. Pur non restituendo integralmente la funzionalità pedologica e idrologica perduta nelle superfici impermeabilizzate, essa contribuisce a creare un sistema ambientale più sfaccettato, più resiliente e più capace di sostenere nel lungo periodo la qualità ecologica del territorio.

In sintesi l'analisi quantitativa evidenzia che:

- Il deficit ecosistemico in sito è significativo e non eliminabile.

- Le misure di compensazione generano un recupero sostanziale per carbonio, biodiversità e idrologia.
- La capacità produttiva agricola rimane l'unico servizio non compensabile in quanto la compensazione costituisce il rimboschimento di alcune aree.
- Nel medio periodo (15–20 anni), il sistema raggiunge un bilancio ambientale complessivamente positivo, con un miglioramento netto per alcuni servizi ecosistemici nei nuovi ambiti boscati.

6. CONCLUSIONI

La presente valutazione integrata degli impatti ambientali ha permesso di restituire un quadro chiaro e coerente degli effetti complessivi dell'intervento, analizzando il suolo, la regolazione idrologica, la biodiversità, il ciclo del carbonio e il paesaggio attraverso un approccio che combina dati quantitativi, interpretazioni qualitative e criteri metodologici riconosciuti in ambito VIA.

L'analisi ha messo in evidenza, innanzitutto, come la trasformazione delle superfici agricole appartenenti all'unità pedologica CIC1/ZIT1 comporti una perdita significativa e permanente di suolo fertile. Non si tratta soltanto di una diminuzione della superficie agraria disponibile, ma di una vera e propria rinuncia alla funzionalità ecologica che il suolo esprimeva: la struttura biologica complessa, la presenza di fauna edafica, i cicli di mineralizzazione della sostanza organica e la capacità di stoccare carbonio vengono infatti completamente interrotti dalla sigillatura. Questo tipo di impatto è irreversibile nella porzione impermeabilizzata e costituisce uno degli elementi più rilevanti dell'intervento.

Accanto alla perdita pedologica si colloca la modifica del comportamento idrologico naturale. Prima della trasformazione, i suoli CIC1/ZIT1 garantivano un'elevata capacità di infiltrazione, agendo come un sistema naturalmente predisposto alla regolazione dei deflussi superficiali e alla ricarica della falda. L'impermeabilizzazione, al contrario, rende il suolo inattivo dal punto di vista idrologico: l'acqua non penetra, la quota di runoff aumenta drasticamente e la laminazione naturale delle piogge intense non è più garantita. L'intervento, dunque, produce un cambiamento sostanziale, trasformando un ecosistema altamente funzionale in un ambiente incapace di assolvere alle proprie funzioni idrologiche originarie.

La biodiversità rappresenta un'altra componente significativamente interessata. Sebbene la superficie agricola iniziale non esprimesse livelli elevati di biodiversità superficiale, essa possedeva comunque una rete ecologica sotterranea attiva, con microfauna e microflora importanti per il funzionamento complessivo del suolo. L'impermeabilizzazione interrompe completamente tali processi, con una perdita immediata e totale delle capacità ecologiche del sito. Le misure di mitigazione previste, come le fasce verdi, svolgono una funzione utile soprattutto in termini di connettività ecologica e di miglioramento marginale degli habitat di bordo; tuttavia, è soprattutto la compensazione forestale ad assumere un ruolo centrale nella ricostruzione delle funzioni ecologiche. La realizzazione del bosco introduce progressivamente un nuovo mosaico di habitat complessi, articolati e stabili, capaci di ospitare una biodiversità superiore a quella agricola originaria e di ristabilire reti trofiche articolate.

Il ciclo del carbonio segue una dinamica simile. La rimozione del suolo e la sua sigillatura comportano una perdita immediata dello stock di carbonio organico accumulato nel terreno. La compensazione forestale, tuttavia, avvia un processo opposto: attraverso la crescita della vegetazione, la formazione della lettiera e il progressivo arricchimento del suolo forestale, si attiva un nuovo ciclo di sequestro del carbonio atmosferico. Il recupero non è immediato, ma cresce nel tempo e contribuisce a ridurre significativamente il bilancio negativo prodotto dall'impermeabilizzazione.

Anche il paesaggio risente dell'intervento. L'inserimento di strutture artificiali modifica la percezione visiva e la naturalità dell'area, introducendo elementi geometrici e omogenei in un contesto agricolo tradizionale. Le opere di mitigazione aiutano a integrare parzialmente

l'insediamento nel paesaggio, ma è la realizzazione del bosco compensativo a determinare, nel medio periodo, una vera riqualificazione percettiva. La struttura vegetale, con le sue variazioni stagionali e la sua complessità morfologica, è in grado di restituire una dimensione paesaggistica più ricca e articolata rispetto allo stato iniziale.

Nel complesso, l'intervento produce una perdita localizzata nelle superfici impermeabilizzate, dove il suolo, la biodiversità e le funzioni idrologiche vengono compromessi in modo irreversibile. Tuttavia, le opere di compensazione e di mitigazione innescano un percorso di ricostruzione ecologica che, sebbene distribuito nello spazio e nel tempo, risulta efficace per ristabilire numerose funzioni ecosistemiche. Il bosco compensativo svolge un ruolo determinante, offrendo benefici crescenti nel tempo e contribuendo alla creazione di una nuova matrice ecologica più complessa, più resiliente e, per alcune componenti, qualitativamente superiore rispetto allo scenario agricolo originario.

La valutazione integrata porta quindi alla conclusione che, pur in presenza di un impatto significativo e non reversibile sul suolo e su parte delle funzioni pedologiche, l'insieme delle misure previste è in grado di ricostruire un numero consistente di servizi ecosistemici e di migliorare nel lungo periodo la qualità ecologica e paesaggistica dell'area a scala provinciale. Il sistema ambientale non ritorna alle condizioni pre-esistenti, ma evolve verso un nuovo assetto funzionale, caratterizzato da una maggiore diversità biologica, da una migliore qualità paesaggistica e da una rinnovata capacità di svolgere funzioni ecologiche essenziali.

7. RIFERIMENTO / BIBLIOGRAFIA

ISPRA (2024). Consumo di Suolo in Italia – Rapporto Annuale.

ISPRA. Geoportale EcoAtlante.

SNPA (2020). Linee Guida 28/2020 – Valutazione dei servizi ecosistemici del suolo.

ERSAF (2010). Suoli e Paesaggi della Provincia di Mantova.

Gruppo Mauro Saviola (2023). Relazione tecnica – Mitigazione e compensazione.

Gruppo Mauro Saviola (2021). Studio di Impatto Ambientale.

FAO (2015). Status of the World's Soil Resources.

JRC (2018). Soil-related ecosystem services in the EU.

IPCC (2019). Climate Change and Land.

Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). The Mathematical Theory of Communication.

Magurran, A.E. (2004). Measuring Biological Diversity. Blackwell Publ.

ISPRA (2018–2024). Consumo di Suolo e Servizi Ecosistemici.

USDA – Soil Conservation Service (SCS). National Engineering Handbook.

FAO (2015–2022). Guidelines for soil hydrology and infiltration.

ERM HAS OVER 140 OFFICES ACROSS THE
FOLLOWING COUNTRIES AND TERRITORIES WORLDWIDE

Argentina
Australia
Belgium
Brazil
Canada
China
Colombia
Denmark
France
Germany
Hong Kong
India
Indonesia
Ireland
Italy
Japan
Kazakhstan
Kenya
Malaysia
Mexico
Mozambique
Netherlands
New Zealand
Panama
Peru
Poland
Portugal
Romania
Singapore
South Africa
South Korea
Spain
Switzerland
Taiwan
Thailand
UAE
UK
US
Vietnam

ERM Italia S.p.A.
Via San Gregorio, 38
20124 Milano - Italia

T: +39 02 674401

www.erm.com